

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LES ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES ET LES CORRÉLATS
NEUROANATOMIQUES DE LA MÉMOIRE PROSPECTIVE

THÈSE
PRÉSENTÉE
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR
VÉRONIQUE PARADIS

JUIN 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Cette thèse marque la fin de longues années de labeur et elle a été réalisée avec le soutien et l'aide de nombreuses personnes. Ainsi, j'aimerais d'abord remercier Isabelle Rouleau, ma directrice de thèse, qui a été un modèle inspirant par ses qualités de chercheuse, de clinicienne, mais également ses qualités personnelles. Merci de m'avoir donné autant d'opportunités d'apprentissage dans un environnement stimulant et ouvert. Un merci particulier à mes collaborateurs de l'hôpital Notre-Dame, à Pierre Gravel tout d'abord, sans qui je n'aurais sans doute pas encore terminé les analyses des images IRMf. Il pourrait régler tous les problèmes du monde avec un programme Matlab ! J'aimerais souligner l'aide de Jean-Maxime Leroux, qui a offert le soutien technique et logistique à mon expérimentation en IRMf. Je désire remercier Simona Brambati pour ses suggestions dans la rédaction de l'article ainsi que Jean Bégin pour son aide pour les analyses statistiques des données comportementales.

Je remercie chaleureusement les membres de ma famille pour leur soutien et les encouragements inestimables durant l'ensemble de mon parcours scolaire: Jocelyne, Serge et Marie-Hélène. Un merci spécial à mon conjoint, Simon, qui a été un témoin quotidien de cette longue aventure. Merci de ta compréhension et de ton amour dans mes hauts et mes bas... Je tiens à souligner également le soutien de ma belle-famille, Claude, Hélène, Emmanuelle et Steve. Je remercie mes amis de longue date ainsi que mes collègues uqamiens qui ont enrichi mon parcours et ensoleillé ces journées de travail. Plus particulièrement, je tiens à remercier Katja qui m'a initiée au tout départ à l'IRMf et a été une amie précieuse. Merci à Pierre-Luc, qui fût un acolyte hors-pair avec son humour et son écoute. Merci à Valérie, ma dynamique et pétillante colocataire de bureau. Merci à Marie-Julie pour son soutien lors de mes premières expériences professionnelles en neuropsychologie clinique et pour ses conseils. Je tiens à remercier aussi Maxime, Marc, Sébastien et toutes mes collègues du laboratoire d'Isabelle Rouleau. J'aimerais aussi souligner les encouragements de

mes collègues de travail à l'hôpital Sacré-Coeur de Montréal ainsi qu'au CHUM.

Merci au soutien financier très apprécié des bourses d'excellence de l'UQAM, du FQRNT et du CRSNG.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
RÉSUMÉ	xiii
CHAPITRE I INTRODUCTION GÉNÉRALE	2
1. La mémoire prospective.....	2
1.1 Les systèmes de mémoire.....	2
1.2 La mémoire sémantique et la mémoire épisodique.....	3
1.3 Les processus de la mémoire épisodique	3
1.4 La mémoire épisodique rétrospective versus la mémoire prospective.....	5
1.4.1 Les modèles automatiques de la récupération en mémoire prospective ..	7
1.4.2 Les modèles contrôlés de la récupération en mémoire prospective	8
1.4.3 Les modèles mixtes de la récupération en mémoire prospective	11
1.4.4 Controverses méthodologiques dans l'étude de la MP	14
2. Les corrélats neuroanatomiques de la mémoire prospective.....	16
2.1 Les études neuropsychologiques en mémoire prospective	16
2.2 Les études de neuroimagerie en mémoire prospective	22
2.2.1 Les études électrophysiologiques en mémoire prospective	22
2.2.2 Les études hémodynamiques en mémoire prospective	26
2.2.2.1 Les études en TEP.....	26
2.2.2.2 Les études en IRMf.....	31
CHAPITRE II PREMIER ARTICLE: THE IMPACT OF A WITHIN-SUBJECT DESIGN AND SELF-REPORTED STRATEGY ON THE PROSPECTIVE INTERFERENCE EFFECT.....	37

Problématique	37
Objectifs	39
Hypothèses	40
Abstract	42
1. Introduction	43
2. Materials and Methods	48
2.1 Participants	48
2.2 Experimental tasks and procedure	48
3. Results	51
3.1 Ongoing tasks	51
3.2 PM task	53
3.3 Strategy	53
3.3.1 Strategy and ongoing tasks+	54
3.3.2 Strategy and PM task	55
4. Discussion	56
4.1 Within-subject design	56
4.2 The prospective interference effect and underlying PM processes	59
5. Conclusion	61
6. References	63
CHAPITRE III DEUXIÈME ARTICLE : COMMON AND DISTINCT NEURAL	
CORRELATES OF RETROSPECTIVE AND PROSPECTIVE MEMORY	
RETRIEVAL	70
Problématique	70
Objectifs	73
Hypothèses	74
Abstract	76
1. Introduction	77
2. Materials and Methods	80

2.1 Participants.....	80
2.2 Experimental tasks and procedure	81
2.3 Image acquisition and data analysis	85
3. Results	88
3.1 Behavioral results.....	88
3.2 Functional imaging results	89
4. Discussion	93
4.1 PM and RM retrieval: common activations	93
4.2 Unique PM activations.....	96
5. Limitations	99
6. Conclusions	100
7. References.....	101
CHAPITRE IV DISCUSSION GÉNÉRALE	111
4.1 Le protocole intra-sujets dans la recherche en MP	111
4.2 Neuroimagerie de la mémoire prospective	116
4.2.1 Activations communes entre la récupération en MR et MP	116
4.2.2 Activations associées spécifiquement à la tâche de MP	118
4.3 Conclusion.....	124
APPENDICE A.....	125
APPENDICE B	127
APPENDICE C	130
APPENDICE D.....	138
APPENDICE E	144
RÉFÉRENCES.....	146

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : INTRODUCTION GÉNÉRALE

Figure 1 : Les aires de Brodmann	20
--	----

CHAPITRE II: ARTICLE 1

Figure 1. Response times (ms) on ongoing task trials, with and without a PM component, for the two counterbalanced groups	69
---	----

CHAPITRE III : ARTICLE 2

Figure 1. Significant activations in common to PM retrieval (minus SPD task) and RM tasks	109
Figure 2. Significant unique activations in PM retrieval (minus SPD task) compared to RM tasks	110

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II : ARTICLE 1

Table 1. Accuracy (%) on ongoing tasks, with and without a PM component, for the two counterbalanced groups.....	66
Table 2. Accuracy (%) and response times (ms) for PM trials during each ongoing task for the two counterbalanced groups.....	67
Table 3. Accuracy (%) and response times (ms) on ongoing tasks+ and on PM task as a function of strategy (Monitoring or Automatic)	68

CHAPITRE III : ARTICLE 2

Table 1. Mean performance (SD) on ongoing trials, alone and with an added PM task and on PM trials	106
Table 2. Brain activations during SPD task alone and with an added PM task.	107
Table 3. Brain activations shared by PM and RM retrieval.....	108

LISTE DES ABRÉVIATIONS

3D MPRAGE: Three Dimensional Magnetization Prepared Rapid Acquisition

ACC: Anterior cingulate cortex

AD: Alzheimer's disease

AMS: Aire motrice supplémentaire

ANOVA: Analysis of variance

aPFC: Anterior prefrontal cortex

AtoM: Attention to Memory

AVQ: Activités de la vie quotidienne

BA: Brodmann area

BOLD: Blood oxygen level dependent

CCA: Cortex cingulaire antérieur

CCP: Cortex cingulaire postérieur

CPFa : Cortex préfrontal antérieur

CR: Contextual recollection task

CR+ : Contextual recollection task + PM task

DAP: Dual attentional processes hypothesis

DCT-based: Discrete cosine transform

DSP : Décision sémantique et perceptive (tâche)

EEG: Électro-encéphalographie

EIP : Effet d'interférence prospective

EPI: Echo-planar functional images

ERP: Event-related potential ou potentiels évoqués cognitifs

fMRI: Functional magnetic resonance

FOV: Field of View

FWHM kernel: Full width at half maximum

IRMf: Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

ISE: Intention superiority effect

LPC: Late positive complex

M: Mean

MD nucleus: Medio-dorsal nucleus

MEG: Magnéto-encéphalographie

MNI : Montreal Neurological Institute

MP: Mémoire prospective

MR: Mémoire rétrospective

MRI: Magnetic Resonance imaging

MTL: Medial temporal lobe

PAM: Preparatory attentional et retrospective memory processes

PET: Positron emission tomography

PFC: Prefrontal cortex

PIE: Prospective interference effect

PM: Prospective memory

PRMQ: Prospective and retrospective Memory Questionnaire

PROMEDY: Prospective memory dynamic

RC: Récupération contextuelle (tâche)

rCBF: Regional cerebral blood flow ou flot sanguin cérébral régional

REMO: Episodic memory retrieval mode

RM: Retrospective memory

RM + TC: Retrieval mode and target checking

RN: Recognition task ou tâche de reconnaissance

RN+: Recognition task + PM task

RT: Response time

SAS: Supervisory attention system

SD: Standard deviation

SMA: Supplementary motor area

SPD: Semantic/ perceptual decision task

SPD+: Semantic/ perceptual decision task + PM task

SPM8 Software: Statistic Parametric Mapping

TCC: Traumatisme crâniocérébral

TE: Echo-time

TEP: Tomographie par émission de positron

TR: Repetition time

VIH : Virus d'immunodéficience humaine

VPC: Ventral parietal cortex

RÉSUMÉ

La mémoire prospective (MP) réfère à la capacité de formuler des intentions, de les maintenir dans le temps, puis d'exécuter les actions planifiées après un délai. Cette thèse s'est intéressée à deux aspects distincts de ce type de mémoire, soit l'exploration d'un aspect méthodologique controversé et la caractérisation des régions cérébrales qui sont impliquées dans ce type de mémoire.

Le but de la première étude était de valider l'utilisation d'un protocole intra-sujets dans l'étude la mémoire prospective (MP). En effet, certains auteurs questionnent la validité d'un tel protocole en comparaison avec l'utilisation d'un groupe contrôle (inter-sujets). Des études ont montré que si une intention prospective était donnée avant un bloc de tâche concurrente, la performance à cette dernière pouvait être affectée même si les sujets étaient informés de ne pas exécuter la tâche de MP. Nous avons donc administré trois tâches concurrentes: décision sémantique et perceptive (DSP), récupération contextuelle (RC) et reconnaissance (RN), seules ou avec une tâche prospective. Afin d'examiner plus précisément l'effet du contrebalancement, nous avons administré à un groupe de participants les tâches concurrentes + la tâche de MP avant les séries de tâches concurrentes contrôles (sans MP) et nous avons administré les tâches dans l'ordre inverse pour l'autre groupe de sujets. Les résultats obtenus montrent tout d'abord que l'ajout d'une tâche de mémoire prospective entraînait un ralentissement des temps de réponses aux items de la tâche concurrente, ce qu'on appelle un effet d'interférence prospective (EIP). Cet effet était équivalent entre les deux groupes de contrebalancement : les sujets ayant reçu la tâche prospective avant les tâches concurrentes contrôles (à qui on avait dit que l'intention était complétée) et les sujets ayant reçu les tâches concurrentes contrôles en premier. Ces résultats semblent suggérer que les sujets ont été suffisamment en mesure d'oublier l'intention prospective une fois cette dernière complétée. Par ailleurs, nous avons constaté au moyen d'un questionnaire post-expérimentation qu'un sous-groupe de sujets affirmait avoir maintenu l'intention prospective alors qu'un autre groupe de sujets rapportait que la récupération de l'intention était survenue automatiquement. Ces deux groupes montraient un EIP statistiquement similaire, mais nous avons observé que le groupe ayant mis en place des processus stratégiques avait une performance significativement supérieure aux items de MP durant la dernière tâche concurrente. Ce groupe pourrait donc avoir bénéficié de la surveillance stratégique en maintenant et même, en améliorant leur performance à la tâche de MP, particulièrement à la fin de la série de tâches, où la fatigue pourrait avoir été présente. Par ailleurs, ce même groupe pourrait avoir montré un coût plus élevé lié à l'établissement de ces processus, comme nous avons observé qu'il avait tendance à obtenir des résultats plus faibles à la tâche concurrente la plus exigeante

de la série. La divergence entre l'EIP mesuré et les stratégies rapportées par les sujets soulèvent des doutes quant au lien entre le l'EIP et les processus cognitifs sous-jacents. Ainsi, nous avons discuté des résultats en référence aux diverses positions théoriques concernant le fonctionnement de la MP.

L'objectif de la deuxième étude était d'examiner les activations cérébrales générées par deux types de récupération épisodique rétrospective (reconnaissance et récupération contextuelle) et par la récupération en mémoire prospective (détection de l'indice et récupération de l'intention) en utilisant l'IRMf. Ainsi, en dépit des nombreux liens théoriques et expérimentaux établis entre la mémoire rétrospective (MR) et la mémoire prospective, peu d'études en neuroimagerie se sont intéressés à les comparer dans une même étude. Nous avons donc administré à seize sujets une tâche DSP, une tâche de RC et une tâche de RN, isolément et en combinaison à une tâche de MP. Nous avons observé des activations communes entre les blocs de tâches de MP et de MR au niveau du précuneus gauche (portion latérale), du lobule pariétal inférieur gauche et du thalamus gauche (pulvinar). Ces régions pourraient être impliquées dans des processus similaires en MR et MP. Ainsi, l'activation du précuneus pourrait être liée à la récupération d'informations associatives riches, alors que le lobule pariétal inférieur pourrait refléter les processus attentionnels descendants en jeu durant la récupération en mémoire. Des activations spécifiquement associées à la récupération en MP ont été trouvées au précuneus gauche (portion médiane), au gyrus cingulaire gauche, au thalamus droit (dorsomédian) et au gyrus frontal supérieur droit. Nous supposons que ces régions pourraient être associées aux processus attentionnels et exécutifs qui sont recrutés en plus par la tâche de MP et qui permettent une coordination adéquate de la tâche concurrente et de la tâche MP, particulièrement la préparation de l'action orientée vers un but, l'alternance attentionnelle et l'inhibition de la réponse à la tâche concurrente.

Mots clés: mémoire prospective, mémoire rétrospective, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, lobe préfrontal, précunéus

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. La mémoire prospective

1.1 Les systèmes de mémoire

Depuis les premiers travaux de l'allemand Herman Ebbinghaus dans les années 1880, des milliers d'études se sont intéressées à comprendre le fonctionnement de la mémoire. De nombreux modèles ont été proposés pour rendre compte des observations expérimentales et les neurosciences cognitives ont permis de fournir de nouveaux éléments concernant les bases biologiques de la mémoire chez l'être humain. La plupart des scientifiques adhère maintenant au concept de mémoires multiples. Ainsi, il est d'abord possible d'établir une première distinction entre la mémoire à court terme et la mémoire à long terme en fonction de leur capacité respective de stockage, de la durée du maintien de l'information et des transformations progressives dans la représentation des informations (Bachevalier, 2005). La mémoire à court terme ou la mémoire de travail a une capacité limitée (sept éléments plus ou moins deux), elle permet le maintien temporaire (quelques secondes) ainsi que la manipulation de l'information emmagasinée, le plus souvent, sous forme phonologique. Le modèle théorique de la mémoire de travail proposé par Baddeley et Hitch (1974) soutient que celle-ci est constituée de trois composantes : un système exécutif central responsable du contrôle attentionnel, une boucle phonologique capable de retenir et de manipuler les informations verbales et un calepin visuo-spatial chargé des informations visuelles. À l'opposé, la mémoire à long terme a une capacité et une durée de maintien de l'information presque illimitée. La mémoire à long terme peut être subdivisée en deux sous-types : la mémoire non

déclarative et la mémoire déclarative (Gil, 2003; Squire & Cohen, 1984). La mémoire non déclarative réfère à l'apprentissage inconscient sans indexation contextuelle, tel que le conditionnement, l'amorçage perceptivo-visuel et la mémoire procédurale qui permet l'acquisition et l'utilisation de composantes sensori-motrices (Gil, 2003). D'un autre côté, la mémoire déclarative est responsable de la mémorisation consciente des informations sous forme verbale et sous forme visuelle. On peut y inclure les deux types de mémoire introduits par Tulving en 1972: la mémoire sémantique et la mémoire épisodique (Tulving, 1972).

1.2 La mémoire sémantique et la mémoire épisodique

La mémoire sémantique correspond à l'ensemble des connaissances générales sur le monde qui ne sont pas associées à un contexte spécifique. Elle englobe donc le savoir relatif à la signification des mots, les propriétés fonctionnelles et associatives des différents objets, de même que les connaissances didactiques de toutes sortes (Cabeza & Nyberg, 2003). La mémoire épisodique réfère, quant à elle, aux processus cognitifs qui supportent la représentation consciente d'événements uniques incluant leur contexte temporel, spatial et émotionnel (Tulving, 1972, 1983). Elle est *généralement* orientée vers le passé, phylogénétiquement récente, se développe tardivement et se détériore rapidement chez l'individu. Elle permet de voyager mentalement dans le temps subjectif permettant à l'individu de revivre ses expériences passées grâce à la conscience auto-noétique (mémoire autobiographique). Tulving (2004) lui attribue donc trois composantes fondamentales : le soi (entité distincte dans le présent et le passé subjectif), la conscience auto-noétique (distinction entre se souvenir et percevoir ou rêver) et le temps subjectif (trajectoire mentale retrospective).

1.3 Les processus de la mémoire épisodique

La mémoire épisodique implique trois stades consécutifs : l'encodage, la consolidation et le rappel de l'information. L'encodage fait référence aux processus

qui permettent la formation d'une nouvelle trace mnésique. Le succès avec lequel l'information sera encodée est déterminé par la profondeur du traitement sémantique, le degré d'attention, le niveau d'organisation du matériel à mémoriser, l'état émotionnel (motivation, anxiété, etc.) et le degré d'utilisation de l'imagerie mentale (Fletcher & Henson, 2001). La consolidation désigne le maintien dans le temps de la trace mnésique et inclut des opérations de consolidation qui rendent cette trace davantage permanente. Le rappel réfère au processus d'accès à la trace mnésique stockée (Cabeza & Nyberg, 2000). Cette étape implique l'interrogation de la réserve de la mémoire épisodique à l'aide d'un indice (généré par l'environnement ou par l'individu lui-même), le rétablissement de l'information épisodique en mémoire de travail (ecphorie : Tulving, 1983) et l'évaluation ou le monitoring de cette information (Fletcher & Henson, 2001). Il est ainsi possible de dissocier les processus qui opèrent lors de l'apparition de l'indice de récupération (processus pré-récupération) de ceux qui sont impliqués dans le traitement du produit de la tentative de récupération (processus post-récupération) (Rugg, Otten, & Henson, 2002). En laboratoire, le rappel est étudié en exposant un individu à des événements (liste de mots, d'images, de visages, histoires, etc.) et en l'interrogeant ultérieurement sur l'information stockée. Deux grands types de tests sont utilisés pour tester la capacité de l'individu à repêcher l'information : les épreuves de reconnaissance et celles d'évocation (Cabeza & Nyberg, 2000). Lors d'un test de reconnaissance, l'individu doit déterminer (par choix forcé (2 choix ou plus) ou par oui/non) si les items présentés ont été étudiés précédemment ou s'ils sont nouveaux. Ce type de test repose davantage sur le sentiment de familiarité face aux stimuli que sur une récupération complète du stimulus et de son contexte. L'implication respective de la familiarité et de la récupération du contexte peut cependant varier selon les exigences de la tâche de reconnaissance (par exemple : reconnaître seulement les mots de la liste A). Les tests d'évocation exigent, quant à eux, que l'individu produise les items étudiés (mots, objets,...) à l'aide d'indices spécifiques (rappel indicé) ou sans indice (rappel libre) ce qui l'oblige à utiliser des stratégies de récupération efficaces. La

récupération d'un épisode implique de se souvenir de l'épisode lui-même, mais aussi des informations détaillées encourant le moment, l'endroit et le contexte dans lequel celui-ci s'est présenté. Ainsi, les épreuves de mémoire peuvent faire référence au contenu de ce qui a été étudié (l'item : *quoi*) ou au contexte dans lequel il a été étudié (mémoire spatiale : *où*, temporelle : *quand* ou de source : *comment*) (Cabeza & Nyberg, 2000). La mémoire de source peut aussi faire référence à la récupération du type de processus cognitif en jeu lors de l'apparition d'un stimulus, par exemple se souvenir durant laquelle des deux tâches l'item a été rencontré (par ex. : compter le nombre de syllabes ou juger de l'appartenance sémantique).

1.4 La mémoire épisodique rétrospective versus la mémoire prospective

La mémoire épisodique peut être rétrospective (MR), donc orientée vers le passé. Celle-ci est mesurée traditionnellement par les tests de rappel ou de reconnaissance administrés plusieurs minutes après l'encodage, tel que décrit précédemment. Elle peut également être prospective (MP), donc orientée vers le futur. Dans ce dernier cas, elle réfère à la capacité de formuler des intentions, de les maintenir puis d'exécuter les actions qu'elles appellent après un certain délai (Burgess, Scott, & Frith, 2003). La mémoire des intentions implique donc le souvenir qu'il y a quelque chose à faire (composante prospective), le souvenir de l'action spécifique à faire et du moment où elle doit être faite (composante rétrospective) (Einstein & McDaniel, 1990). Ce type de mémoire ne fait l'objet d'études approfondies que depuis quelques années. En laboratoire, on mesure habituellement la mémoire prospective en demandant au sujet d'appuyer sur une touche (l'action prospective) à un moment particulier ou en présence d'un stimulus particulier (l'indice prospectif), pendant l'accomplissement d'une tâche concurrente. Ce type de paradigme, développé par Einstein et McDaniel (1990), demeure la méthode privilégiée d'étudier la mémoire prospective en laboratoire. Ellis et Kvavilashvili (2000) recommandent, pour une expérimentation valide de la mémoire prospective, a) qu'il y ait un délai, de quelques minutes à quelques heures, entre l'encodage ou la

formulation de l'intention et la récupération de celle-ci, b) qu'il n'y ait pas de demande explicite lors de la récupération de l'intention prospective et c) que les sujets soient engagés dans une activité indépendante qui doit être interrompue lorsque la tâche prospective doit être exécutée (tâche concurrente). On distingue classiquement deux types de tâches en mémoire prospective : les tâches *time-based* et *event-based*. Une tâche prospective *time-based* implique de se souvenir d'effectuer une action particulière à un certain moment dans le temps (indice interne du passage du temps) alors qu'une tâche *event-based* implique de se souvenir d'effectuer une action quand un événement particulier se produit (indice de récupération externe) (Einstein & McDaniel, 1990). Un autre type de tâche similaire à la tâche *event-based* a été proposé par la suite par Kvavilashvili et Ellis (1996), c'est-à-dire la tâche *activity-based* qui repose également sur la survenue d'un indice externe, mais qui ne nécessite pas l'interruption d'une activité concurrente (par exemple, fermer le four après son utilisation). Il est aussi possible de distinguer les tâches de mémoire prospective qui sont habituelles (par exemple, la prise quotidienne d'une médication) et celles qui sont occasionnelles (par ex., acheter un cadeau pour un anniversaire). Les tâches peuvent également être qualifiées de tâches à court-terme (par ex., retirer un repas du micro-onde dans 20 secondes), plus susceptibles d'impliquer principalement la mémoire de travail pour la récupération ou de tâches à long-terme (par ex., retirer le poulet du four dans deux heures), impliquant plus probablement le monitoring en mémoire à long-terme (Einstein, Holland, McDaniel, & Guynn, 1992). De plus, les tâches concurrentes peuvent être relativement simples, impliquant un minimum de ressources cognitives (par ex., faire des photocopies), ou complexes, engageant d'abondantes ressources cognitives (par ex., résoudre un problème mathématique) (Einstein & McDaniel, 1996). Ces différentes dimensions font varier la nature et le niveau d'implication de différentes ressources cognitives nécessaires à l'exécution des tâches de mémoire prospective, influençant par le fait même le niveau de difficulté de celles-ci. En somme, Burgess et al. (2003) ont résumé les caractéristiques typiques d'une tâche prospective comme suit : 1) Il y a une intention

ou de multiples intentions d'action; 2) L'action ne peut être exécutée immédiatement; 3) L'intention est d'exécuter l'action en présence de circonstances particulières (contexte de récupération), dans une tâche *event-based*, l'exécuter en présence d'un indice prospectif particulier; 4) Le délai entre la formation de l'intention et le moment opportun de la réaliser est occupé par une activité concurrente; 5) L'exécution de la tâche concurrente empêche l'auto-répétition continue et consciente de l'intention durant le délai, car la tâche requiert suffisamment de ressources attentionnelles ou le délai est trop long; 7) L'indice prospectif n'interfère pas ou n'interrompt pas la tâche concurrente en lui-même, donc la récupération de l'intention est spontanée; 8) Dans la plupart des situations de mémoire prospective, il n'y a pas de rétroaction immédiate donnée à la personne concernant sa performance.

Un des facteurs qui distingue principalement la mémoire prospective de la mémoire rétrospective est l'absence de demande explicite de rappel de l'intention. Ainsi, les recherches récentes en mémoire prospective s'intéressent particulièrement à définir les mécanismes qui opèrent dans la perception de l'indice et la récupération de l'action, en l'absence de demande explicite de récupération. Deux types de théories s'affrontent, d'un côté on suppose que ces mécanismes dépendent de processus contrôlés ou stratégiques et de l'autre, que ces mécanismes opèrent de façon automatique. Ces modèles seront abordés dans la section suivante.

1.4.1 Les modèles automatiques de la récupération en mémoire prospective

La première approche théorique de la récupération en mémoire prospective suggère que la rencontre d'un indice de MP amène, relativement automatiquement à la conscience, l'action à faire qui y est associée (interaction automatique indice externe/ trace mnésique). Ce processus serait supporté par un système de mémoire associative automatique qui transfère à la conscience, avec peu d'effort cognitif, les informations précédemment associées à des stimuli environnementaux attendus (McDaniel, Robinson-Riegler, & Einstein, 1998). On associe à cette théorie un mécanisme par lequel une activation s'étend, à partir d'un « nœud » d'activité (un

stimulus), à un réseau d'association. Donc, la probabilité d'accomplir l'action, lorsque survient l'indice prospectif, dépend du niveau d'activation de l'association indice-action et la qualité de l'indice. Ce modèle est appuyé, entre autres, par des études qui montrent que les indices de MP non familiers produisent de meilleures performances prospectives que les indices familiers (Einstein & McDaniel, 1990). Ces résultats, interprétés dans le contexte des réseaux d'association, supposent que l'indice non familier possède moins d'associations ce qui augmente la probabilité que l'activation engendrée par l'indice active spécifiquement l'action associée planifiée et avec assez de force pour l'amener à la conscience (*fan-effect*). Dans ce sens, en contrôlant expérimentalement le nombre de mots associés à chacun des indices prospectifs dans une phase d'apprentissage (0 à 4), Cook, Marsh, Hicks & Martin (2006) ont montré qu'un réseau d'association plus étendu réduisait significativement la détection de l'indice dans une tâche *event-based*. D'un autre côté, il est aussi possible que la distinctivité locale de l'indice non familier au sein d'items familiers puisse alerter le sujet au rôle particulier de l'indice et ainsi, entraîner la récupération de l'action associée (Brandimonte & Passolunghi, 1994). Ainsi, selon McDaniel et Einstein (2000) les indices prospectifs saillants (en caractères spéciaux, de tailles différentes, etc.) captent involontairement l'attention, entraînant une analyse de la signification du stimulus au-delà du cadre de la tâche concurrente, ce qui mène ultimement à une meilleure performance en mémoire prospective (Einstein, McDaniel, Manzi, Cochran, & Baker, 2000). La notion de récupération automatique est également en accord avec l'expérience des sujets de certaines études qui rapportent ne pas mettre en place de stratégies de monitoring mais plutôt que l'action en mémoire prospective surgit à la conscience lorsque l'indice apparaît (Einstein & McDaniel, 1990).

1.4.2 Les modèles contrôlés de la récupération en mémoire prospective

À l'opposé, la deuxième approche suppose que le transfert d'attention de l'activité en cours à l'action prospective est volontaire et sous le contrôle de

processus stratégiques. Shallice et Burgess (1991) proposent que ces processus seraient contrôlés par un système de supervision attentionnelle (*supervisory attention system* : **SAS**). Celui-ci serait impliqué dans l'encodage des associations entre les stimuli externes pertinents à l'action planifiée et l'action elle-même et leur maintien jusqu'à l'exécution de l'action prospective. Le SAS surveillerait l'environnement pour la détection du stimulus cible et du moment approprié pour effectuer l'action et interromprait l'activité en cours pour exécuter l'activité planifiée. Les processus de surveillance ne sont pas bien compris jusqu'à maintenant et diverses alternatives subsistent quant à leur fonctionnement. Il a été proposé que des ressources exécutives étaient continuellement impliquées à surveiller l'environnement à la recherche des indices ou stimuli associés à l'action à faire. D'un autre côté, le système exécutif pourrait ramener périodiquement à la conscience l'action planifiée pour maintenir l'activation de l'association indice-action et permettre une meilleure détection lorsque l'indice survient (McDaniel & Einstein, 2000).

Smith (2003) suggère aussi un modèle contrôlé de processus de préparation attentionnelle et de mémoire rétrospective (*preparatory attentional et retrospective memory processes* : **PAM**). Selon cette théorie, la récupération des intentions ne serait jamais automatique car des processus de préparation attentionnelle non automatiques doivent être engagés durant la tâche concurrente ou jusqu'à ce que l'opportunité d'effectuer l'action planifiée se présente. Une meilleure performance à la tâche prospective implique un monitoring plus élevé ce qui entraîne un coût sur la performance à la tâche concurrente. La position théorique du contrôle volontaire est appuyée par les études où on observe un ralentissement de la performance à la tâche concurrente lorsqu'on ajoute une instruction en mémoire prospective (même lorsqu'aucun indice prospectif n'est présenté) ou une diminution de la performance en mémoire prospective lors de tâches d'attention divisée (Burgess, Quayle, & Frith, 2001; Einstein, Smith, McDaniel, & Shaw, 1997). Ce phénomène a été appelé l'effet d'interférence prospective (EIP). Ces résultats supposent que la tâche prospective recrute des ressources attentionnelles afin d'évaluer consciemment les stimuli,

réduisant la quantité de ressources disponibles pour l'exécution de la tâche secondaire ou vice-versa.

Dans le même sens, le modèle PAM et les modèles à composantes multiples de la mémoire prospective supposent que des composantes prospectives et rétrospectives supportent ce type de mémoire (Einstein, et al., 1992; Einstein & McDaniel, 1996; Smith, 2003). Les processus cognitifs de la composante prospective seraient responsables de la détection de l'indice prospectif et de la conscience que l'accomplissement d'une action est nécessaire en présence de l'indice. Les processus de la composante rétrospective supporteraient la récupération de l'intention, une fois l'indice détecté. Une capacité minimale de mémoire rétrospective semble donc nécessaire à l'accomplissement d'une tâche prospective. Il faut se souvenir de l'action à faire en plus de se rappeler du moment où elle doit être accomplie. Ces éléments correspondent à un contexte spatio-temporel précis se rapportant au moment où la décision de faire l'action a été prise et semble être du ressort de la mémoire épisodique. Cette vision renvoie à la notion de surveillance stratégique (dépendant de ressources de traitement limitées) et rappelle également la proposition de Tulving (1983) qui suppose que la récupération dépend de deux éléments : le système cognitif doit être dans un mode de récupération et il doit y avoir un indice de récupération (interne ou externe) pour initier la récupération ecphorique (interaction entre l'indice de récupération et la trace mnésique stockée) (Guynn, 2003). Le mode de récupération a été proposé par Tulving en 1983, il a fait l'objet d'études plus approfondies seulement depuis l'avènement de l'IRMf (Lepage et al., 2000) et il réfère à un état cognitif maintenu de façon tonique, tout au long d'une tâche de rappel, qui serait nécessaire à la réussite de la récupération dans différents types de tâches de mémoire épisodique.

Dans le but de préciser le fonctionnement de la surveillance stratégique, Guynn (2003) a suggéré un modèle de la mémoire prospective à deux processus. La surveillance implique, d'une part, le maintien du système cognitif dans un mode de récupération en mémoire prospective et d'autre part, la vérification de la présence des

circonstances (apparition de l'indice prospectif ou fenêtre temporelle) appelant l'exécution de l'action. Selon l'auteur, au même titre que le mode de récupération qui serait requis pour le succès de la récupération en mémoire épisodique, un mode de récupération prospectif serait également nécessaire pour la récupération d'informations prospectives stockées, incluant l'intention, le moment opportun pour que l'action soit effectuée, l'action prospective et les liens entre ces diverses composantes.

1.4.3 Les modèles mixtes de la récupération en mémoire prospective

Les résultats expérimentaux en mémoire prospective sont contradictoires et appuient tantôt une approche contrôlée, tantôt une approche automatique (McDaniel & Einstein, 2000). On observe cette confusion, entre autres, au sein des résultats d'études mesurant l'effet de l'âge sur la performance en MP. Étant donné que les ressources attentionnelles déclinent avec l'âge, en particulier celles impliquées dans la réalisation de tâches doubles, et dans la mesure où ces ressources sont impliquées dans les tâches en MP, on devrait observer un déclin dans les performances en MP chez les sujets âgés qui ont de la difficulté à mettre en place des processus stratégiques. À l'opposé, si la MP repose plutôt sur des processus automatiques, la performance des sujets âgés ne devrait pas être affectée. Alors que les résultats de certaines études montrent une diminution des performances en MP chez les sujets âgés, appuyant le modèle de contrôle stratégique (Grady & Craik, 2000; Maylor, 1993, 1996; Maylor, Smith, Della Sala, & Logie, 2002; Park, Hertzog, Kidder, Morrell, & Mayhorn, 1997), d'autres ne montrent plutôt aucune différence liée à l'âge, supportant le modèle automatique (Cherry & LeCompte, 1999; Einstein & McDaniel, 1990; Einstein, et al., 1997).

Une autre série d'études voulant manipuler directement la disponibilité des ressources attentionnelles en mémoire prospective en modifiant la difficulté de la tâche concurrente (par exemple : en ajoutant une tâche supplémentaire), a aussi amené des résultats contradictoires. Si des ressources attentionnelles sont nécessaires

à la réussite d'une tâche de mémoire prospective, en sollicitant ces ressources lors de l'exécution de la tâche concurrente, moins de ces ressources attentionnelles seront disponibles pour effectuer la tâche prospective et la performance en sera altérée. Certaines études sont en accord avec une hypothèse de contrôle et révèlent des performances diminuées lors de tâches secondaires exigeantes sur le plan attentionnel (Einstein, et al., 1997; R. L. Marsh, Hancock, & Hicks, 2002a; R.L. Marsh & Hicks, 1998). D'un autre côté, des études par Einstein et al. (2000) ainsi que par Otani et al. (1997) ne montrent pas de différences liées à la tâche secondaire additionnelle, appuyant un modèle automatique.

En réponse à la disparité des résultats, McDaniel et Einstein (2000) ont proposé un modèle à processus multiples qui suggère que selon les circonstances, différents processus, contrôlés ou automatiques, peuvent soutenir la mémoire prospective. Selon les auteurs, il y aurait plusieurs façons d'accomplir une tâche prospective et sa sélection serait dépendante de variables telles que l'importance de la tâche prospective, la nature des indices et leur relation avec l'action planifiée, la nature et les contraintes de la tâche concurrente ainsi que les différences individuelles cognitives et la personnalité. Ces différents facteurs sont aussi susceptibles d'affecter le type et le degré de planification effectuée. Ainsi, les individus peuvent tantôt adopter une stratégie de monitoring du stimulus pertinent à la tâche prospective, tantôt laisser le stimulus surgir à la conscience lors de la réalisation de la tâche concurrente. Des différences individuelles expliqueraient aussi le choix de la stratégie adoptée durant l'exécution d'une tâche de mémoire prospective. Ainsi, pour la réalisation d'une même tâche prospective, il est possible de noter, après interrogation des participants, qu'une proportion de ceux-ci reste en tout temps attentive à l'apparition de la cible alors qu'une autre portion se rappelle de la tâche prospective seulement lorsque la cible apparaît (Ward, Shum, McKinlay, Baker-Tweney, & Wallace, 2005). De plus Meier, Zimmermann & Perrig (2006) ont montré, en interrogeant les participants sur leur expérience subjective durant l'exécution de la tâche prospective, que des processus de récupération automatique et de surveillance

stratégique avaient tous deux lieu durant l'accomplissement de la tâche, mais que leur contribution respective pouvait être modulée par la manipulation des variables expérimentales (utilisation du priming ou informations précises données au sujet concernant le contexte de la tâche de mémoire prospective).

Selon McDaniel et Einstein (2000), les caractéristiques de la tâche concurrente déterminent également le niveau d'implication des processus stratégiques ou automatiques dans la réalisation de la tâche de mémoire prospective. Les auteurs soutiennent que lorsque la tâche concurrente implique le traitement attentionnel focalisé de l'indice prospectif, c'est-à-dire si l'indice prospectif fait partie des stimuli devant être traités au cours de la tâche concurrente, celui-ci est suffisamment traité pour entraîner la récupération involontaire et automatique de l'action associée. À l'opposé, si l'indice prospectif de la tâche concurrente ne fait pas partie des informations préférentiellement traitées durant l'exécution de la tâche, la réalisation de la tâche de mémoire prospective nécessitera la mise en place de processus stratégiques afin de détecter l'indice et la pertinence d'exécuter l'action associée. Ainsi, si l'indice prospectif est, par exemple, l'arrière-plan sur lequel le stimulus est présenté (Park et al., 1996) ou s'il s'agit d'une paire de lunettes portée par la personne à identifier, des processus attentionnels devront être mise en place pour assurer la détection de la cible (Maylor, 1996). Ce phénomène permettrait d'apporter une explication aux résultats divergents observés dans les études sur les effets de l'âge en mémoire prospective. Les auteurs relèvent que les études qui n'ont pas observé d'effet négatif de l'âge sur les performances en mémoire prospective, utilisaient des tâches concurrentes durant lesquelles les indices prospectifs faisaient l'objet d'un traitement attentionnel focalisé (Einstein & McDaniel, 1990; Einstein, McDaniel, Richardson, Gynn, & Cunfer, 1995; Einstein, et al., 1997). Lorsque que l'indice prospectif n'a pas besoin d'être traité pour la réussite de la tâche concurrente, les personnes âgées obtiendraient des résultats moins élevés car des ressources attentionnelles et exécutives doivent être utilisées pour détecter la cible et celles-ci déclinent avec l'âge (Maylor, 1996).

1.4.4 Controverses méthodologiques dans l'étude de la MP

Bien que les critères de base d'une tâche prospective soient bien acceptés dans la littérature, certains aspects méthodologiques font encore l'objet de débats. Ainsi, certains auteurs préfèrent l'utilisation de protocoles intra-sujets, ce qui signifie que la moitié des sujets reçoive la tâche de MP prospective avant l'exécution de la tâche contrôle, alors que d'autres croient en l'emploi de protocoles inter-sujets (groupe contrôle) dans l'étude de la MP. Les implications de ce choix méthodologique sont en lien avec les théories énoncées précédemment sur le fonctionnement de la MP. Ainsi certains auteurs, tel que Smith et al. (2007) croient en l'utilisation d'un groupe contrôle pour étudier l'effet d'interférence prospective (EIP) et ils jugent que la méthode intra-sujets demeure peu sensible pour détecter cet effet. Ils appuient ce choix entre autres sur l'étude de Guynn (2005) qui a montré que si l'instruction prospective était donnée avant le bloc de tâches contrôles, la performance aux items contrôles était affectée, même si les sujets étaient explicitement informés de ne pas exécuter la tâche de MP. Certains auteurs en IRMf ont également utilisé un design où le bloc de tâche contrôle (non-contaminé) était toujours administré avant le bloc de tâche avec la composante prospective (contaminé) pour tous les sujets (Simons, Scholvinck, Gilbert, Frith, & Burgess, 2006). Bien que ceci permette d'assurer que l'intention prospective ne puisse interférer avec la tâche contrôle, la performance peut être par ailleurs influencée par l'effet de pratique et la fatigue, ce qui complique l'interprétation des résultats. Goshke et Kuhl (1993) ont réalisé une étude où ils demandaient au sujet d'apprendre des paires de scripts (ex.: mettre la table pour le souper) composés de 5 actions (ex.: disposer la coutellerie, mettre la nappe, ...). Ils disaient ensuite aux sujets lequel des scripts ils allaient devoir effectuer plus tard durant la séance, ce qui le transformait en script prospectif. À une tâche subséquente de reconnaissance, ils ont observé des temps de réponse plus rapides aux scripts prospectifs en comparaison aux scripts neutres. Ils en ont conclu que les intentions avaient un statut privilégié en mémoire, un niveau d'activation supérieur et ils ont

appelé ce phénomène, l'effet de supériorité de l'intention (*intention superiority effect*: ISE).

Einstein et McDaniel (2010) croient quant à eux que le contrebalancement est une méthode traditionnelle en psychologie expérimentale pour contrôler pour l'effet de fatigue et de pratique et ils considèrent qu'elle est adéquate pour l'étude de l'EIP. Ils présument que les sujets ne déploieront pas indûment des ressources cognitives additionnelles durant une tâche (i.e. tâche contrôle) qui n'en requiert plus (i.e. tâche MP complétée). Marsh, Hicks et Bink (1998) ont observé que les intentions interrompues ou non complétées conservaient leur statut privilégié en mémoire, leur accessibilité supérieure, tel que démontré par les temps de réponses plus rapides à ces items en reconnaissance en comparaison aux items neutres. Ils ont toutefois démontré que lorsque les intentions étaient complétées, elles perdaient leur niveau d'activation et semblaient même inhibées, ce qui se traduisait par des temps de réponses plus longs à ces items. Une étude en ERP (West, McNerney, & Travers, 2007) a aussi montré que l'activité associée à la détection de l'indice, à la récupération de l'intention et aux processus post-récupération était réduite considérablement dans la condition où l'intention était annulée. Le protocole intra-sujets permet de comparer les performances d'un même sujet dans deux contextes différents et il peut représenter un coût-bénéfice avantageux. Il peut donc être particulièrement intéressant lors de l'utilisation de technologie coûteuse ou complexe. Ainsi, il n'est toujours pas clair à la lecture de la littérature en MP si les deux types de protocoles sont valides et lequel est à privilégier (Burgess, Gonen-Yaacovi, & Volle, 2011a; Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith, et al., 2007). Chacun semble présenter des avantages et les informations disponibles permettant d'appuyer les deux types de méthodes ne permettent pas de trancher de façon décisive. Davantage d'études devront être réalisées afin de déterminer si par exemple, les sujets peuvent suffisamment "oublier" l'intention une fois qu'elle est complétée pour qu'elle n'interfère pas durant la tâche contrôle dans un protocole de contrebalancement. Le premier article de cette thèse s'est ainsi intéressé à cette question méthodologique particulière.

De plus, bien que plusieurs théories aient été proposées concernant les processus sous-jacents à la mémoire prospective, peu d'études se sont intéressées aux régions cérébrales impliquées dans la réalisation de tâches de mémoire prospective. Néanmoins, un nombre croissant d'études neuropsychologiques ont été réalisées au cours de la dernière décennie auprès de diverses populations cliniques et des techniques de neuroimagerie ont été utilisées afin d'investiguer l'implication respective des régions cérébrales dans la mémoire prospective.

2. Les corrélats neuroanatomiques de la mémoire prospective

2.1 Les études neuropsychologiques en mémoire prospective

Les études réalisées auprès de patients cérébro-lésés permettent d'apporter plus de précision concernant les processus cognitifs sous-jacents à la mémoire prospective, tels que proposés par les différentes hypothèses théoriques. En dépit de la pertinence de ce type de recherches afin d'établir le lien entre des déficits en mémoire prospective et l'atteinte de régions cérébrales particulières, seulement quelques études ont été effectuées chez des patients cérébro-lésés. La majorité des chercheurs soulignent néanmoins l'importance du lobe frontal dans la réalisation différée des intentions, en particulier du cortex préfrontal. Dans la mesure où la mémoire prospective implique la formation d'une intention et la mise en place de stratégies susceptibles de la récupérer au moment opportun et ce, durant la réalisation d'une autre tâche, elle nécessite plusieurs fonctions dans lesquelles le lobe frontal est préférentiellement impliqué : planification, allocation (déplacement) des ressources attentionnelles, inhibition, etc. Par ailleurs, la réalisation d'une intention implique également des capacités liées à la récupération rétrospective, la rétention et la récupération du contenu de l'intention, et donc, dépend de l'intégrité des régions temporales médianes et du système limbique (Dobbs & Reeves, 1996). Il faut aussi rappeler que le cortex préfrontal possède des connexions avec l'hippocampe, l'amygdale, le thalamus (noyau dorsomédian), avec le cortex limbique parahippocampique et cingulaire, avec l'hypothalamus et avec le tegmentum

mésencéphalique. De façon générale, ces boucles joueraient un rôle dans les systèmes de mémoire par l'intermédiaire du système limbique ainsi que dans les processus attentionnels par le thalamus qui est lui-même relié à la formation réticulée par les noyaux intralaminaires (Gil, 2003). Lors de la récupération, on suppose que les régions frontales produisent une modulation descendante (*top-down*) en interagissant avec les représentations neuronales des indices environnementaux dans les régions postérieures afin de réactiver le réseau cortical associé au souvenir. L'interaction entre les régions frontales et temporales médianes varierait en fonction de l'orientation des processus attentionnels, de la quantité d'effort cognitif déployé durant la tentative de récupération et du succès avec lequel les informations sont récupérées (Simons & Spiers, 2003). Dans plusieurs études neuropsychologiques, les déficits en mémoire prospective ont donc été fréquemment associés à des altérations de la mémoire rétrospective et/ou des fonctions exécutives, suggérant que ces fonctions ont des bases cérébrales ainsi que des processus en commun.

À titre d'exemple, des études réalisées auprès de patients atteints de démence de type Alzheimer, présentant des atteintes des lobes frontaux et temporaux, ont rapporté des déficits en mémoire prospective aux tâches *time-based* et *event-based* en plus des difficultés observées en mémoire rétrospective (Huppert, Johnson, & Nickson, 2000; Livner, Laukka, Karlsson, & Bäckman, 2009; Maylor et al., 2002). De plus, plusieurs études ont rapporté des difficultés de MP chez les patients présentant des troubles cognitifs légers en comparaison aux personnes âgées contrôles et ce, pour les composantes prospectives et rétrospectives (Costa, Perri, Serra, Barban, Gatto, Zabberoni, et al., 2010; Costa, Perri, Zabberoni, Barban, Caltagirone, & Carlesimo, 2011; Thompson, Henry, Rendell, Withall, & Brodaty, 2010). Une revue récente des études s'intéressant à la mémoire prospective chez les patients avec troubles cognitifs légers (Costa, Caltagirone, Carlesimo, 2011) ont ainsi conclu que les difficultés qu'ils présentent à la composante rétrospective des tâches de MP seraient explicables par leurs déficits en mémoire déclarative, alors que les difficultés à la composante prospective seraient associées à la perturbation des fonctions exécutives. Plusieurs

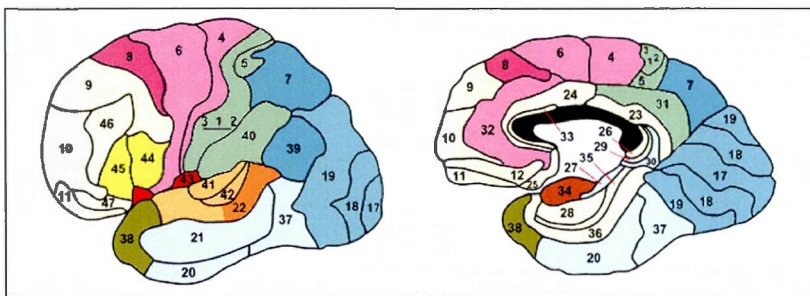
études ont aussi mis en évidence des déficits dans des tâches de mémoire prospective *event-based* et *time-based* chez des personnes victimes de traumatismes crâniocérébraux (TCC) qui présentent des atteintes préférentielles des régions préfrontales et des lobes temporaux. (Carlesimo, Casadio, & Caltagirone, 2004; Henry, Phillips, Crawford, Kliegel, Theodorou & Summers, 2007; Knight, Harnett, & Titov, 2005; Knight, Titov, & Crawford, 2006; Mathias & Mansfield, 2005; Potvin, Rouleau, Audy, Charbonneau, & Giguere, 2011; Schmitter-Edgecombe & Wright, 2004; Shum, Valentine, & Cutmore, 1999). L'étude de Schmitter-Edgecombe et Wright (2004) a ainsi montré que la performance en mémoire prospective des patients ayant subi un TCC sévère était corrélée aux mesures des fonctions attentionnelles, de vitesse de traitement de l'information et de mémoire rétrospective. Des chercheurs ont également montré des difficultés en MP chez des patients atteints du virus d'immunodéficience humaine (VIH) (Carey, Woods, Rippeth, Heaton, & Grant, 2006) et chez les patients souffrant de la maladie de Parkinson, dont la neuropathologie implique majoritairement les circuits fronto-striato-thalamo-corticaux (Costa, Peppe, Caltagirone, & Carlesimo, 2008; Whittington, Podd, & Stewart-Williams, 2006). Carey et al. (2006) ont par exemple pu mettre en évidence que les déficits en MP chez les patients atteints du VIH étaient corrélés aux résultats aux tests mesurant les fonctions exécutives, la mémoire de travail verbale et les capacités d'apprentissage verbal et visuel.

Dans le but de pallier le manque d'exactitude des études faites auprès de patients avec atteintes diffuses, des études ont été réalisées chez des patients avec lésions focales et ont permis d'établir avec plus de précision la relation entre divers aspects de la mémoire prospective et la région anatomique directement impliquée. Ainsi, bien que très peu nombreuses et reposant fréquemment sur des études de cas, ces recherches suggèrent que les lésions frontales, en particulier, du cortex frontal gauche (BA 8, 10), du gyrus cingulaire gauche (23, 24, 31) ou de la région préfrontale dorsolatérale droite (BA 9 et 46), entraînent des déficits en mémoire prospective (voir figure 1) (Bissiachi, 1996; Burgess, Veitch, de Lacy Costello, & Shallice, 2000). Une

étude de Palmer et McDonald (2000) a mis en évidence que les patients ayant eu une lobectomie temporale antérieure gauche pour le traitement de l'épilepsie éprouvaient de la difficulté dans les tâches de mémoire prospective et rétrospective alors que le groupe de patients ayant subi une opération pour le traitement d'un anévrisme de l'artère communicante antérieure présentaient des déficits restreints aux tâches de mémoire prospective. Burgess et al. (2000) ont quant à eux révélé par l'analyse des différentes composantes cognitives impliquées dans l'accomplissement d'une multitâche que des lésions du cortex cingulaire antérieur (CCA) gauche étaient associées à des difficultés dans la composante rétrospective de la tâche (se souvenir des règles de la tâche après un délai) et les lésions du cortex cingulaire postérieur (CCP) gauche à des difficultés dans la composante rétrospective et prospective (réaliser des intentions formulées après un délai). Le CCP a déjà été relié à la transmission et l'élaboration des informations mnésiques en transit entre le système hippocampique et les aires associatives néocorticales (Sutherland, Wishaw, & Kolb, 1988). De plus, le CCA serait particulièrement impliqué dans les tâches mnésiques, surtout lorsque les demandes de récupération sont plus élevées (Cabeza et al., 1997). Cette étude de Burgess et al. (2000) a aussi mis en évidence que des lésions de la région préfrontale dorsolatérale droite (BA 9 et 46) étaient reliées à des difficultés dans la planification nécessaire à la tâche. Des lésions plus médianes et antérieures des aires de Brodmann 8, 9 et 10 étaient associées à davantage de bris de règles et des difficultés dans l'alternance entre les tâches, suggérant, selon les auteurs, une implication de ces régions dans les composantes prospectives de la réalisation d'une multitâche. Par l'étude d'un groupe de patients présentant des atteintes cérébrales d'étiologies variées, Kopp & Thöne-Otto (2003) ont révélé que les patients qui avaient des difficultés au sein des fonctions exécutives détectaient significativement moins d'indices prospectifs, peu importe leur niveau de fonctionnement mnésique. Toutefois, les patients qui montraient des déficits sévères dans l'apprentissage de nouvelles informations étaient incapables de se souvenir ni de l'intention ni de son contenu, suggérant que les capacités de mémoire rétrospective sont nécessaires mais

non suffisantes à la réalisation d'une tâche prospective. Il faut également mentionner que quelques études de cas ont montré que des déficits sévères en mémoire prospective pouvaient être présents chez des patients qui avaient, d'autre part, une mémoire rétrospective et une mémoire à court-terme intactes, une intelligence générale préservée et des fonctions exécutives normales (Bissiachi, 1996; West, McNerney, & Krauss, 2007). Ces résultats évoquent donc la possibilité qu'il y ait des processus cognitifs fondamentaux et spécifiques à la mémoire prospective qui ne sont pas impliqués de façon aussi importante dans les autres fonctions cognitives mais ces derniers n'ont pas été caractérisés dans les études réalisées jusqu'à présent.

Figure 1 : Les aires de Brodmann



Les études neuropsychologiques présentées ci-haut ont permis d'esquisser des liens généraux entre certaines atteintes cérébrales (lobes frontaux, temporaux et circuits fronto-sous-corticaux) et ses impacts sur le fonctionnement de la mémoire prospective. Elles ont aussi mis en évidence des corrélations entre diverses fonctions cognitives (exécutives, mnésiques rétrospectives, mémoire de travail, attention) et les performances en mémoire prospective. Toutefois, la caractérisation plus fine des régions cérébrales impliquées dans chacun des processus sous-jacents à la mémoire prospective est difficile à effectuer avec ce type d'études, d'autant plus que les patients à l'étude ont souvent des lésions ou atteintes assez diffuses et très peu d'études ont inclut des patients avec lésions focales. En effet, l'hétérogénéité de la localisation des lésions, de l'étiologie et de la chronicité des pathologies chez les patients dans les analyses de groupe peut obscurcir la contribution respective des

différentes régions, entre autres des régions préfrontales (Ranganath & Knight, 2003). Les patients de ces études ont parfois des lésions unilatérales ce qui laisse supposer que leurs déficits puissent être en partie compensés par l'hémisphère controlatéral (Chao & Knight, 1998). De plus, des déficits cognitifs mesurés par les tests neuropsychologiques utilisés dans la plupart des études peuvent être dus à différentes atteintes neuronales sous-jacentes. Ainsi, des difficultés en mémoire rétrospective peuvent être attribuables à une altération des capacités stratégiques de récupération (fonctions frontales) plutôt qu'à des dommages hippocampiques ce qui peut biaiser l'interprétation des corrélations retrouvées entre les différentes fonctions cognitives et la mémoire prospective. À l'inverse, des difficultés exécutives objectivées peuvent être causées par des atteintes plus diffuses ou variées que des lésions purement préfrontales (Kopp & Thöne-Otto, 2003). De plus, bien que les études neuropsychologiques nous renseignent sur les régions nécessaires à l'accomplissement d'une tâche donnée, elles ne nous permettent pas d'avoir accès au système cérébral plus global dans lequel celles-ci sont impliquées. Il faut mentionner aussi certaines limites méthodologiques de ces études, à savoir qu'une proportion de celles-ci utilise très peu de tâches de mémoire prospective, restreignant l'étendue des résultats (variance limitée) et des analyses statistiques pouvant être effectuées à partir de ces résultats. Ce petit nombre de tâches est aussi parfois administré à des échantillons de patients réduits, ce qui limite d'autant plus la puissance des analyses statistiques et peut biaiser les corrélations retrouvées (Mathias & Mansfield, 2005). On remarque également une variabilité considérable dans le type de tâches de mémoire prospective utilisées (type d'indices prospectifs, durée de l'intervalle de rétention de l'intention, nombre d'intentions, type de tâche concurrente, ...), dans l'inclusion ou non de tâches *event-based* et *time-based*, dans le choix des outils de mesure des autres fonctions cognitives, ce qui peut rendre difficile la comparaison entre les populations cliniques et au sein d'une même population.

2.2 Les études de neuroimagerie en mémoire prospective

Malgré que la méthode anatomo-clinique ait permis d'établir les régions cérébrales susceptibles d'être impliquées en mémoire prospective, l'utilisation des techniques d'imagerie sophistiquées a amené à un autre niveau la recherche des corrélats anatomiques de ce type de mémoire. Les techniques de neuroimagerie fonctionnelle possèdent des avantages méthodologiques considérables par rapport à la méthode anatomo-clinique pour l'étude de la mémoire et de ses corrélats neuroanatomiques, en particulier pour préciser le rôle du lobe frontal. Elle permet entre autres de dissocier les différents stades de la mémoire, en mesurant la réponse hémodynamique ou électrique durant l'encodage ou la récupération d'information (Fletcher & Henson, 2001). Si beaucoup d'études en imagerie ont été menées dans la dernière décennie sur la mémoire épisodique rétrospective, seules quelques études ont été publiées récemment sur la mémoire épisodique prospective. Les prochaines sections s'intéresseront donc aux résultats et aux conclusions des recherches récentes sur ce dernier type de processus mnésique.

2.2.1 Les études électrophysiologiques en mémoire prospective

Les méthodes de neuroimagerie peuvent être scindées en deux grandes catégories : celles qui mesurent l'activité hémodynamique (taux de débit sanguin régional), dont la tomographie par émission de positons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) font partie, et celles qui détectent l'activité neuronale par la mesure des champs rythmiques électriques (électro-encéphalographie : EEG et potentiels évoqués cognitifs : ERP) ou magnétiques (magnéto-encéphalographie : MEG) à la surface de la tête (Rugg, et al., 2002). Les signaux détectés par les deux types de méthodes sont considérés comme étant le reflet, direct pour les techniques électrophysiologiques et indirect pour les mesures hémodynamiques, de l'activité post-synaptique intégrée de larges populations de neurones (Logothetis, Pauls, Augath, Trinath, & Oeltermann, 2001). L'étude des bases neuroanatomiques de la mémoire prospective par les techniques de

neuroimagerie est très récente mais plusieurs études ont rapportées des résultats intéressants.

Les potentiels évoqués cognitifs (ERP; *Event-related potential*) constituent la méthode électrophysiologique la plus utilisée dans l'étude de la mémoire. Par sa résolution temporelle de l'ordre des millisecondes, elle permet d'accéder au déroulement temporel de l'activité neuronale qui sous-tend les processus cognitifs associés à chacun des stimuli (Rugg & Wilding, 2000). Le désavantage majeur de cette technique réside dans sa faible résolution spatiale qui limite l'étendue des conclusions neuroanatomiques qu'il est possible de tirer.

À partir de 2000, West et ses collègues ont commencé à étudier les bases neuroanatomiques de la mémoire prospective à l'aide de cette technique et ils ont publié plusieurs travaux à ce sujet. Ainsi, les premières études ont mis en évidence, durant l'accomplissement d'une tâche prospective, une onde négative phasique dans la région pariéto-occipitale droite (N320) possiblement associée à la détection de l'indice visuel (300 à 400 ms après la présentation de l'indice) alors que la récupération de l'intention en mémoire était associée à une modulation d'ondes lentes négatives dans la région frontale droite et d'ondes positives dans la région pariétale (*Late positive complex* : LPC; 500-1000 à 1200 ms après la présentation de l'indice) (West, Herndon, & Crewdson, 2001; West & Ross-Munroe, 2002). Dans leur étude, West et al. (2001) ont montré que la N320 était présente dans les conditions où l'indice était lié à une intention et où l'indice devait être ignoré, mais son amplitude était supérieure dans la condition où l'indice était associé à une intention, suggérant selon eux que la détection de l'indice est réalisée via la modulation attentionnelle des systèmes neuronaux qui traitent les caractéristiques particulières du stimulus. Des études ont également révélé que l'amplitude du signal N300 serait modulée par la saillance de l'indice et par la charge de la tâche concurrente en mémoire de travail, ce qui signifie qu'une demande accrue en mémoire de travail a un impact sur les processus attentionnels qui supportent la détection de l'indice prospectif (West, Bowry, & Krompinger, 2006; West, Wymbs, Jakubek, & Herndon, 2003). De plus,

West, McNerney & Travers (2007) ont observé des modulations en ERP associées à un effet d'interférence prospective, c'est-à-dire des temps de réponses accentués quand une intention prospective est ajoutée à une tâche, reflétant selon eux l'établissement d'un mode de récupération prospective. Comme il sera détaillé davantage dans les études de TEP, le mode de récupération réfère à un état cognitif maintenu de façon tonique, tout au long d'une tâche de rappel, qui serait nécessaire à la réussite de la récupération dans différents types de tâches de mémoire épisodique (Guynn, 2003; Lepage, Ghaffar, Nyberg, & Tulving, 2000).

L'étude de West et al. (2001) a aussi révélé que la topographie des ondes lentes retrouvées lors de la récupération en mémoire prospective ressemblait à celle observée lors de la récupération d'informations en mémoire rétrospective. De plus, des similarités ont été remarquées entre la distribution du signal positif pariétal et celle du signal P3 observé lors de la récupération d'épisodes passés en mémoire (*recognition old-new effect*) (West, 2008). Des études ont toutefois démontré que la composante P3 pouvait contribuer à la positivité prospective, sans l'expliquer entièrement, mais que ces deux signaux étaient modulés par des manipulations expérimentales différentes (West & Krompinger, 2005; West & Wymbs, 2004). West et al. (2005) ont spécifiquement comparé dans deux études subséquentes la récupération en mémoire rétrospective, de type reconnaissance et rappel indicé, à la récupération en mémoire prospective. À l'aide d'analyses des variables latentes (*partial-least square analysis*), les auteurs ont mis en évidence une variable associée aux processus communs durant la reconnaissance et la récupération en mémoire prospective (modulation frontale P2, FN400, positivité pariétale, ondes lentes frontales) dans la 1^e étude et une variable associée au rappel indicé et à la récupération prospective dans la 2^e étude (onde lente frontale, centrale et pariétale). Les analyses ont aussi révélé une seconde variable latente permettant de distinguer la récupération en présence des indices prospectifs de la reconnaissance et le rappel indicé en mémoire rétrospective (une onde N300 occipito-pariétale, une positivité pariétale et une onde lente frontale), suggérant l'existence de processus uniques à la

mémoire prospective. Étant donné que l'onde positive pariétale était liée à la seconde variable latente unique à la mémoire prospective, les auteurs soutiennent que celle-ci pourrait être associée aux processus de monitoring post-récupération impliqués dans la coordination de la tâche concurrente et de la composante prospective (West & Krompinger, 2005). Ces résultats supposent donc que la récupération d'informations en mémoire rétrospective et prospective serait supportée par des processus neuronaux similaires, mais certains seraient uniques à la mémoire prospective. Ces derniers correspondraient possiblement aux processus post-récupération qui soutiennent la réalisation de l'intention, qui seraient différents des processus post-récupération mis en jeu en mémoire rétrospective (West & Krompinger, 2005).

Une étude utilisant la MEG (Martin et al., 2007) a également mis en évidence l'implication des régions pariétales postérieures, frontales et hippocampiques durant l'accomplissement d'une tâche de MP. Les auteurs ont postulé que les régions pariétales pourraient être impliquées dans la détection de l'indice ou des conditions appropriées pour l'exécution de l'intention prospective, alors que l'activation hippocampique serait liée à la recherche subséquente en mémoire.

Les études en ERP et en MEG réalisées jusqu'à présent apportent des informations pertinentes à la caractérisation des régions cérébrales impliquées et des processus cognitifs mis en place dans la réalisation de tâches prospectives. Ces données ont permis de déterminer que la récupération d'informations en mémoire prospective et en mémoire rétrospective sollicitait des régions communes. Toutefois, ces résultats révèlent que certaines régions sont impliquées exclusivement lors de la récupération en mémoire prospective. La faible résolution spatiale de la méthode électrophysiologique restreint cependant la possibilité de les identifier avec précision. Les études réalisées avec des techniques de neuroimagerie hémodynamique comblent certaines de ces lacunes et ont permis d'autres avancées dans notre compréhension des processus sous-jacents à la mémoire prospective.

2.2.2 Les études hémodynamiques en mémoire prospective

2.2.2.1 Les études en TEP

Les méthodes hémodynamiques reposent sur l'association entre les changements de l'activité neuronale et les changements locaux dans l'oxygénation sanguine (BOLD ; *Blood oxygen level dependent*) ou le flot sanguin cérébral régional (rCBF; *regional cerebral blood flow*). Ces méthodes utilisent des techniques de reconstruction d'images pour localiser les modifications du BOLD ou du rCBF dans une résolution spatiale de quelques millimètres (Mayes & Montaldi, 2001). La TEP permet d'évaluer le degré d'activation de différentes régions cérébrales (avec une imprécision de 3-8 mm) en mesurant la concentration, plus ou moins importante, d'un traceur à un endroit donné suivant l'élévation du flot sanguin (Joyal, 2005). Le taux de métabolisme du glucose et l'utilisation d'oxygène peuvent être directement mesurés par l'administration d'isotopes radioactifs tels que le ^{18}F -fluorodéoxyglucose ou l'oxygène-15 (^{15}O). L'activité du traceur radioactif qui est injecté nécessite plusieurs heures avant de disparaître. Cette méthode qui était privilégiée avant l'avènement de l'IRMf, est donc limitée par le temps possible d'acquisition des données (quelques dizaines de secondes), par l'utilisation exclusive de design en bloc, rendant impossible la séparation de l'activité reliée à un item de celle reliée à un état continu, par l'impossibilité de répéter des conditions au cours d'une même séance (Rugg & Wilding, 2000).

La mémoire prospective a fait l'objet d'un nombre très restreint d'études en imagerie et à peine quelques études ont été réalisées en TEP (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; Burgess, et al., 2000; Okuda et al., 2003; Okuda et al., 2007; Okuda et al., 1998). Ainsi, l'étude d'Okuda et al. (1998) a révélé que différentes régions frontales et temporales médianes étaient activées lors d'une tâche de mémoire prospective en contraste à une tâche contrôle de répétition de mots. Les auteurs ont donc rapporté des activations du cortex frontal droit ventrolatéral (BA 47) et dorsolatéral (BA 8 et 9), des activations frontopolaires gauches (BA 10), du gyrus cingulaire antérieur gauche (BA24), du lobe frontal médian (BA8) et du gyrus

parahippocampique gauche (BA28). Les activations de BA 10 gauche et de BA 47 droite, ont été associées au processus de maintien en mémoire de l'intention prospective. La vérification de la nouveauté du stimulus, c'est-à-dire l'identification de l'indice, impliquerait le gyrus parahippocampique gauche et l'allocation de l'attention entre la tâche concurrente et la tâche prospective serait assurée par les régions frontales médianes. Cette étude ne permettait toutefois pas l'évaluation des processus de récupération et d'exécution de l'action planifiée. Afin de dissocier les processus associés au maintien de l'intention de ceux reliés à son exécution, et d'éliminer les effets confondants liés au type de stimuli présentés, Burgess et al. (2001) ont conduit une étude en TEP utilisant 4 types de tâches concurrentes (4 types de stimuli avec traitement verbal ou spatial) ayant chacune une instruction prospective associée. Les tâches comprenaient toutes une session sans instruction prospective, une session où le sujet devait maintenir l'intention mais où il n'y avait en fait pas d'indices prospectifs présents et une session où le sujet devait maintenir et exécuter l'intention prospective. Le maintien de l'intention a été associé, à des activations des cortex frontopolaire bilatéraux, du cortex préfrontal latéral droit, du lobe pariétal droit et des précuneus bilatéraux alors que l'exécution de l'intention (en contraste au maintien) entraînait une hausse de l'activation dans une seule région supplémentaire: le thalamus et une diminution de l'activation d'une seule région : le cortex préfrontal dorsolatéral droit. Les auteurs suggèrent à la lumière de ces résultats et de ceux d'études en mémoire rétrospective que les activations bilatérales de BA10 et du cortex préfrontal droit, indépendantes du succès de la récupération de l'intention, pourraient correspondre à un état de surveillance ou à des processus anticipatoires, rappelant le mode de récupération en mémoire épisodique rétrospective. L'activation de BA10 ne serait pas modulée par la difficulté attentionnelle de la tâche, la nature des stimuli, le mode de réponse utilisé, la nature de l'intention, mettant en évidence son rôle spécifique dans la réalisation différée des intentions (Burgess, et al., 2003; Okuda, et al., 2007).

Après l'analyse de plusieurs études de neuroimagerie en mémoire épisodique rétrospective, Lepage et al. (2000) avaient mis en évidence un réseau d'activation particulier à la récupération en mémoire épisodique, correspondant au « mode de récupération » ou au **REMO** (*episodic memory retrieval mode*). Une région est considérée comme étant un corrélat neuroanatomique du REMO si a) elle est activée de façon différentielle durant la tentative de récupération d'événements passés et ce, b) indépendamment du niveau d'ecphorie. Ils ont identifié six régions préfrontales différentes activées durant le mode de récupération, quatre centres étendus d'activation à droite (dorsolatéral : BA 8/9, frontopolaire : BA 10, gyrus cingulaire : BA 32 et operculaire : BA 45/47) et deux petits centres à gauche (BA 10 et BA 45/47). Plusieurs des régions qui seraient impliquées dans le mode de récupération rétrospective ont aussi été observées dans les études hémodynamiques en mémoire prospective, soulignant leurs similarités au niveau neuroanatomique. Guynn et al. (2003) avaient suggéré que la surveillance nécessaire à la détection de l'indice lors d'une tâche prospective impliquerait, d'une part, le maintien du système cognitif dans un mode de récupération de mémoire prospective et la vérification de la présence des circonstances (apparition de l'indice prospectif ou fenêtre temporelle) appelant l'exécution de l'action. Selon l'auteur, au même titre que le mode de récupération qui serait requis pour le succès de la récupération en mémoire épisodique, un mode de récupération prospectif serait également nécessaire pour la récupération d'informations prospectives stockées. De plus, il est possible d'observer des similarités entre les activations retrouvées dans les études hémodynamiques lors de la récupération d'une intention en mémoire prospective et celles retrouvées lors de la récupération contextuelle en mémoire rétrospective. Ainsi, Simons, Gilbert, Owen, Fletcher, & Burgess (2005) ont rapporté, dans une étude d'IRMf, des activations du cortex préfrontal antérieur latéral bilatéralement, des cortex ventrolatéral et dorsolatéral gauches, du lobe pariétal droit et du précuneus lors de tâche de récupération contextuelle (tâche au cours de laquelle le stimulus a été présenté ou la position du stimulus). De plus, ces auteurs ont suggéré que la région de BA10 latéral

serait impliquée dans les processus de contrôle permettant de guider la récupération des informations contextuelles en mémoire. Tout comme les études en mémoire prospective, ces études ont montré des activations différentielles entre les régions latérales et médianes de BA10.

Ainsi, l'équipe de Burgess et al. (2003) a par la suite mis en évidence une dissociation entre les régions médianes et latérales de BA10. Ainsi, les conditions de mémoire prospective *event-based* ont mené à une augmentation du rCBF dans la région préfrontale antérieure latérale bilatéralement et une diminution du rCBF dans la région préfrontale antérieure médiane gauche. La tâche prospective implique de maintenir une intention tout en effectuant une tâche concurrente, donc implique un désengagement attentionnel des stimuli externes (la tâche concurrente) et une augmentation de l'attention envers les cognitions internes. Burgess et al. (2003) ont suggéré que les régions antérieures médianes seraient impliquées dans le maintien de l'attention envers les stimuli externes alors que les régions antérieures latérales seraient associées au maintien de l'attention envers les cognitions internes. Ils ont soulevé aussi la possibilité que les régions frontales rostrales seraient responsables du contrôle volontaire de l'attention permettant l'alternance entre les représentations cognitives internes et les représentations externes. Cette proposition sera au centre de la *Gateway hypothesis* qui sera élaborée ultérieurement concernant le rôle du cortex préfrontal rostral (Burgess, Simons, Dumontheil, & Gilbert, 2005). En plus des régions frontales, des changements ont été observés durant la réalisation de la tâche prospective dans la région BA40, souvent associée aux processus attentionnels, dans le cuneus, fréquemment activé lors du traitement de stimuli visuels complexes, lors d'opérations cognitives difficiles ou lors de la récupération en mémoire et dans la région BA21 qui pourrait être impliquée dans la catégorisation sémantique (Burgess, et al., 2003). Le rôle du thalamus n'est pas clairement défini, il pourrait être impliqué dans la reconnaissance de l'indice prospectif et dans la récupération de l'intention associée (Burgess, et al., 2001) ou dans l'inhibition du mode de réponse en cours et la sélection d'une réponse parmi plusieurs possibilités (Burgess, et al., 2003).

Différentes théories ont été proposées concernant le rôle du cortex préfrontal rostral et des sous-régions médianes et latérales. En plus de la *Gateway hypothesis*, Gilbert et al. (2006) ont observé, suite à une méta-analyse que : 1) les activations de BA 10 latéral étaient produites plus fréquemment par des protocoles de récupération épisodique, 2) les activations très antérieures de BA 10 étaient présentes lorsque les tâches nécessitaient plusieurs processus cognitifs (tâches doubles, mémoire prospective) et 3) les activations médianes de BA10 seraient retrouvées lorsque les tâches requièrent de la méta-cognition ou l'auto-réflexion. Les tâches de mémoire prospective pourraient impliquer ces trois aspects et l'implication respective de ceux-ci pourrait varier selon le type de tâches (*time ou event-based*) et les demandes de celles-ci, mais davantage d'études seront nécessaires pour valider ces hypothèses.

Bien que la méthodologie de l'étude ne corresponde pas classiquement à celle d'une tâche de mémoire prospective, Okuda et al. (2003) se sont intéressés à investiguer les régions cérébrales, en particulier les régions frontopolaires et temporales médianes, impliquées dans une tâche écologique impliquant pour le sujet de réfléchir à son passé (immédiat et lointain) et réfléchir à son futur (immédiat et lointain). Les résultats ont montré un chevauchement considérable entre les activations des régions préfrontales (BA 8, 9, 10), temporales médianes (hippocampes, gyrus parahippocampiques) et occipitopariétales retrouvées lors des deux types de tâches. Au sein des aires frontales polaires, le gyrus antéromédian supérieur était plus activé durant la réflexion sur le futur et davantage, pour le futur éloigné. Cette région préfrontale a déjà été associée à la récupération des événements autobiographiques ou des événements vécus personnellement, suggérant pour les auteurs que le fait de penser au futur partagerait les mêmes mécanismes cérébraux que la réactivation de souvenirs rétrospectifs (Maguire, 2001). De plus, certaines régions temporales médianes, deux aires parahippocampiques gauches entre autres (BA 30, 36), étaient même davantage activées lorsque que les sujets pensaient au futur en comparaison au passé. La réflexion à propos du futur pourrait ainsi solliciter automatiquement les structures temporales médianes, comme la récupération

rétrospective. De plus, cette étude révèle que l'activité du lobe temporal médian est modulée selon un facteur de distance temporelle autant pour la récupération d'événements passés que pour la mise en place d'intentions futures et ces résultats renvoient à l'effet de gradient temporel observé dans les déficits mnésiques des patients avec lésions temporales médianes (Fujii, Moscovitch, & Nadel, 2000). Okuda et al. (2003) suggèrent que l'activation des aires préfrontales et des aires temporales médianes pour chacune des tâches pourrait refléter la contribution de processus cérébraux toniques, comme un mode récupération (Lepage, et al., 2000).

2.2.2.2 Les études en IRMf

L'IRMf constitue maintenant la méthode d'imagerie cérébrale de choix pour étudier la mémoire. Son fonctionnement repose sur le principe qu'une activité cérébrale entraîne une augmentation du flot sanguin oxygéné (oxyhémoglobine) qui est supérieure à la quantité nécessaire, ce qui provoque une modification temporaire des propriétés magnétiques de l'environnement immédiat, donc un rehaussement du signal des zones activées (BOLD) (Joyal, 2005). Si la plupart des études utilisant l'IRMf en mémoire ont été effectuées dans le cadre d'un design en bloc (20-30 secondes), des protocoles mono-événementiels (*event-related*) sont apparus depuis quelques années, permettant de contraster l'activation spécifique à différentes classes d'items expérimentaux, même si ces classes sont déterminées *à posteriori* (D'Esposito, Zarahn, & Aguirre, 1999; Zarahn, Aguirre, & D'Esposito, 1997). Il devient donc possible de départager l'activité neuronale, lors de l'encodage ou du rappel, ainsi que l'activité associée aux items correctement récupérés ou reconnus, en opposition à ceux qui ne le sont pas (Rugg, et al., 2002). Des protocoles judicieusement conçus permettent même de faire des analyses statistiques subséquentes de l'activité continue associée à une tâche (design en bloc) et de l'activité événementielle (design *event-related*), acquises à l'intérieur d'une même séance en IRMf (Braver, Reynolds, & Donaldson, 2003; Donaldson, Petersen, Ollinger, & Buckner, 2001; Velanova et al., 2003b).

Peu d'études s'intéressant à la mémoire prospective ont été réalisées en IRMF (den Ouden, Frith, Frith, & Blakemore, 2005; Hashimoto, Umeda, & Kojima, 2011; Kalpouzos, Eriksson, Sjolie, Molin, & Nyberg, 2010; Poppenk, Moscovitch, McIntosh, Ozcelik, & Craik, 2010; Reynolds, West, & Braver, 2009; Simons, et al., 2006). L'étude de den Ouden et al. (2005) (block-design) a rapporté des activations du cortex frontopolaire latéral droit, en plus des activations du precuneus et du cortex pariétal droit, lorsqu'une tâche de mémoire prospective était ajoutée à la tâche concurrente. Les auteurs appuient l'hypothèse fonctionnelle de Burgess et al. (2001) concernant le rôle du cortex fronto-polaire dans le maintien des intentions, mais n'apporte pas davantage de précisions. Ils observent toutefois une diminution de l'activation du cortex préfrontal dorso-médian dans les conditions contenant une tâche de mémoire prospective, mais dans une région moins antérieure que celle de Burgess et al. (2003). Les auteurs soutiennent que bien que la plupart des études aient montré des activations reliées à la mémoire prospective qui étaient indépendantes de la nature de la tâche concurrente, les résultats de leur étude suggèrent plutôt que l'activité dans la région frontopolaire médiane associée à la mémoire prospective est modulée par la tâche concurrente. Ils suggèrent par ailleurs que les activations du lobe pariétal droit pourraient jouer un rôle dans la vigilance et l'attention soutenue déployées dans le but de détecter la cible prospective. Des activations de différentes sous-régions au sein du précunéus étaient retrouvées dans leur étude selon les conditions (MP ou inférences de causalité). Ils postulent que le précunéus pourrait être impliqué dans le traitement des intentions reliées au sujet. Des études en neuroimagerie ont rapporté des activations de cette région en lien avec l'intention de réaliser une action et la réflexion sur ses propres intentions (Gusnard & Raichle, 2001; Lou et al., 2004).

Simons et al. (2006) ont quant à eux élaboré un protocole permettant de varier la demande cognitive associée à la détection de l'indice ou associée à la récupération de l'intention. La saillance perceptive de l'indice était modulée afin de faire varier la difficulté liée à sa détection. Le nombre d'actions à faire afin de déterminer la

réponse prospective appropriée était contrôlé afin de modifier la difficulté liée à la récupération de l'intention (compter le nombre de syllabes ou compter le nombre de côtés et appuyer sur une des deux touches selon le total). Tout comme Burgess et al.(2003), les analyses ont démontré un patron commun d'activation bilatérale du cortex frontopolaire latéral et une désactivation du cortex frontopolaire médian dans les conditions d'identification de l'indice et de récupération de l'intention pour les mots comme pour les formes. En dépit de ce patron d'activation similaire, l'activation de BA10 latéral était supérieure dans la condition exigeante de récupération de l'intention que dans celle d'identification de l'indice de mémoire prospective. De plus, afin d'examiner l'effet de maintenir une intention, les essais ajoutés d'une intention prospective (« contaminés ») ont été comparés à ceux réalisés avant qu'une intention prospective ne soit introduite (« non-contaminés »). Les conditions en mémoire prospective entraînaient une activation supérieure de la région BA10/47 latéral gauche, ce qui est congruent avec l'idée que cette région est impliquée dans le maintien et/ou la récupération des intentions (Burgess, et al., 2001). Malgré que celles-ci ne soient pas aussi précises, des données en ERP avaient aussi montré que la récupération des intentions était associée à une modulation soutenue d'ondes lentes frontales, d'autant plus lorsque les demandes en récupération étaient élevées (West, et al., 2001). Les auteurs concluent, tout comme Burgess et al. (2003) que le cortex préfrontal antérieur soutient les processus de modulation de l'attention envers les stimuli externes (identification de l'indice parmi les stimuli distracteurs) et envers les processus de cognitions internes (maintien de l'intention et récupération de l'action planifiée). Ils postulent que bien que l'identification de l'indice et la récupération de l'intention soient dissociables comportementalement, ces processus partagent des bases neuronales dans le cortex préfrontal antérieur. Simons et al. (2006) ont aussi montré des activations supérieures du CCA particulièrement dans la condition de détection de l'indice alors que les activations du CCP et du précunéus étaient accentuées durant la condition de récupération de l'intention. Le CPF latéral, le CCA et le cortex pariétal latéral pourraient être liés au contrôle cognitif lié à

l'attention et la vigilance envers les stimuli visuels (Burgess, et al., 2001; Cabeza & Nyberg, 2003). Par ailleurs, le CCP, le précunéus et le cortex pariétal latéral ont été associés dans des études antérieures à la récupération d'informations en mémoire, à la confiance de la récupération et à l'imagerie (Wagner, Shannon, Kahn, & Buckner, 2005).

Kalpouzos et al. (2010) ont subdivisé davantage les différentes étapes de la réalisation d'une intention en utilisant une combinaison de méthodes d'investigation (IRMf, réalité virtuelle, oculométrie, rapports verbaux) durant l'exécution d'une tâche prospective écologique (courses à faire dans la ville). Ils ont proposé un modèle, le *PROspective MEmory DYnamic* (PROMEDY), constitué de 5 étapes itératives: 1) maintien de l'intention avant l'apparition de l'indice, 2) détection de l'indice, 3) maintien de l'intention après la détection de l'indice, 4) action, 5) changement (fin d'une intention, début de l'autre). Les analyses ont montré l'engagement d'un réseau fronto-pariétal (aire de coordination oculo-motrice ou *frontal eye field* et cortex pariétal supérieur) durant l'ensemble de la tâche qui référerait selon les auteurs, aux processus attentionnels descendants (top-down). Ce réseau serait impliqué lorsque l'attention est dirigée vers la récupération en mémoire épisodique (attention vers mémoire; *AtoM*) et permettrait le maintien en tête des intentions ou des buts. Les chercheurs ont également observé un changement du signal, à partir des régions d'analyse perceptive lors de la recherche des endroits liés aux indices, vers un réseau mnésique (temporo-pariétal et fronto-hippocampique) permettant de récupérer l'action à faire après avoir détecté l'indice. Lors de la détection de l'indice et du changement de tâches, les auteurs auraient observé une mise à jour du réseau descendant fronto-pariétal. Contrairement aux études précédentes, l'activation de l'aire BA10 a seulement été retrouvée durant la phase de changement de tâches (*switching*) en utilisant un seuil de signification plus libéral, ce qui suggérerait son rôle dans le contrôle cognitif, permettant le changement du focus attentionnel entre les tâches.

Dans le but de comparer l'activité cérébrale en mémoire prospective et en mémoire de travail, l'étude de Reynolds et al. (2009) a démontré que la performance à la tâche prospective était liée à une activité neuronale soutenue dans un circuit incluant le cortex préfrontal antérieur (BA10) et celle-ci était associée à des temps de réponse plus rapides aux indices MP. Fait important, ce circuit était qualitativement différent de celui retrouvé lors du maintien actif d'informations en mémoire de travail (cortex préfrontal dorsolatéral). Les auteurs soutiennent que l'activité dans le CPFa pourrait être modulée par la demande de monitoring de la tâche MP, c'est-à-dire qu'elle pourrait être réduite si le traitement de l'indice est intégré dans la tâche concurrente (traitement focalisé de l'indice), s'il y a un seul indice prospectif ou si l'emphase est davantage mis sur la performance à la tâche concurrente qu'à la tâche MP, par exemple. Une activation transitoire, donc associée spécifiquement aux indices prospectifs, a aussi été identifiée dans le gyrus temporal médian droit (BA 21/37) et cette dernière pourrait être sollicitée dans la détection de l'indice et pourrait faciliter l'orientation de l'attention vers la réalisation de l'intention plutôt que la tâche concurrente.

Hashimoto, Umeda et Kojima (2011) ont récemment étudié en IRMf l'impact de la présentation d'indices implicites, liés à la catégorie des indices prospectifs ou à l'action prospective, durant la tâche concurrente. Ils ont montré que les stimuli implicites liés à la catégorie des indices prospectifs entraînaient une amélioration de la performance en MP et ceux liés à l'action prospective entraînent une augmentation de la rapidité à la tâche de MP. La présentation des deux types d'indices implicites entraînait une activation accrue au cortex cingulaire antérieur (CCA), ce qui pourrait témoigner d'une augmentation des processus attentionnels et de la vigilance durant la tâche. Ils ont aussi observé une augmentation de l'activité du CPFa latéral (BA10) lorsque des stimuli implicites liés à la catégorie de l'indice prospectif étaient présentés et les auteurs postulent que cette région pourrait être associée au traitement simultané de la tâche concurrente et du maintien de l'intention. Ce même type d'items implicites, facilitant la détection de l'indice prospectif et l'exécution de l'action, était

associé à une activation plus élevée de l'aire motrice supplémentaire (AMS). Il est possible que l'AMS joue un rôle dans la préparation et l'exécution des actions initiées par le sujet ou ayant des fondements en mémoire, alors que le cortex prémoteur serait plus actif dans les actions guidées par des stimuli externes (Jenkins, Jahanshahi, Jueptner, Passingham, & Brooks, 2000).

Ainsi, inspirés des travaux en neuroimagerie portant sur la MP, le deuxième article de cette thèse s'intéressera en particulier à définir les corrélats neuroanatomiques de la MP par l'utilisation de l'IRMf, en les comparant à ceux de la MR.

CHAPITRE II

PREMIER ARTICLE: THE IMPACT OF A WITHIN-SUBJECT DESIGN AND SELF-REPORTED STRATEGY ON THE PROSPECTIVE INTERFERENCE EFFECT

Problématique

La plupart des auteurs sont d'accord sur les critères de base d'une tâche prospective, mais certains aspects méthodologiques font encore l'objet de débats dans la littérature. Ainsi, certains préfèrent l'utilisation de protocoles intra-sujets avec contrebalancement, c'est-à-dire que la moitié des sujets doit recevoir la tâche de MP avant l'exécution de la tâche contrôle, alors que d'autres favorisent l'emploi de groupes contrôles (Burgess, et al., 2011a; Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith, et al., 2007). Smith et al. (2007) croient par exemple en l'utilisation de protocole inter-sujets et ils jugent que la méthode intra-sujets est peu sensible pour détecter le EIP. Une étude a montré dans ce sens que si l'instruction prospective était donnée avant le bloc de tâche contrôle, la performance aux items contrôles était affectée, même si les sujets étaient explicitement informés de ne pas exécuter la tâche de MP (Gyunn, 2005). Einstein et McDaniel (2010) croient quant à eux que le contrebalancement est une méthode valide pour l'étude en MP et qu'elle est utilisée traditionnellement en psychologie expérimentale pour contrôler pour l'effet de fatigue et de pratique. Marsh, Hicks et Bink (1998) ont observé que les intentions interrompues ou non complétées conservaient leur statut privilégié en mémoire, leur accessibilité supérieure, alors qu'elles perdaient leur niveau d'activation une fois qu'elles étaient complétées. Le protocole intra-sujets peut être intéressant car il permet de comparer les performances d'un même sujet dans deux contextes différents

et il peut représenter un coût-bénéfice avantageux. Dans le contexte d'une étude en IRMf où les acquisitions sont très coûteuses, l'utilisation d'un groupe contrôle n'est pas toujours envisageable. Si l'on désire maintenir une puissance statistique convenable, administrer un protocole à deux groupes de plusieurs sujets en IRMf peut représenter une solution peu réaliste. Pour pallier ceci, Simons et al. (2006) ont administré dans leur étude en IRMf, le bloc de tâche contrôle (non-contaminé) systématiquement avant le bloc de tâche avec la composante prospective (contaminé). Bien que cette pratique permette d'assurer que l'intention prospective ne puisse avoir d'effets sur la tâche contrôle, la performance peut être par ailleurs influencée par l'effet de pratique et la fatigue, ce qui complique l'interprétation des résultats. Les arguments en faveur des deux types de protocoles (inter et intra-sujets) ne permettent pas de déterminer de façon certaine lequel des protocoles est à privilégier. Cette étude voulait donc s'attarder à valider l'utilisation d'un protocole intra-sujets dans le contexte d'une étude IRMf où ce choix représente une option plus intéressante. Nous voulions examiner si l'intention prospective pouvait être suffisamment oubliée une fois que les sujets sont informés qu'elle a été complétée, pour que les deux groupes de contrebalancement ne diffèrent pas de façon significative.

Objectifs

L'objectif principal de cette étude est donc de déterminer si l'utilisation d'un protocole intra-sujets, c'est-à-dire le contrebalancement des blocs de tâches concurrentes seules et les blocs de tâches concurrentes additionnées d'une tâche prospective, constitue une méthode valide pour étudier la MP. Les objectifs spécifiques de cette étude sont:

[a] Examiner l'effet sur les performances aux tâches concurrentes (temps de réponses et pourcentage de bonnes réponses) de l'ajout d'une tâche de MP (effet d'interférence prospective: EIP) et plus spécifiquement, en fonction des trois différents types de tâches concurrentes (décision sémantique/perceptive, récupération contextuelle et reconnaissance).

[b] Examiner si l'EIP diffère selon les blocs de maintien (sans indice prospectif) et les blocs de récupération de l'intention (avec indices prospectifs).

[c] Examiner les différences au sein des performances aux tâches concurrentes et à la tâche prospective entre les deux groupes de contrebalancement (tâche de MP avant ou après la série de tâches contrôles).

[d] Explorer les stratégies utilisées par les sujets afin de réaliser la tâche prospective par l'utilisation d'un questionnaire post-expérimentation (voir appendice E).

[e] Explorer les différences au sein de la performance aux tâches concurrentes et à la tâche MP selon les différentes stratégies utilisées et déterminer si ces différences sont en interaction avec le type de contrebalancement.

Hypothèses

Nous supposons que les sujets seront en mesure d'oublier l'intention prospective une fois informés que celle-ci est complétée, d'autant plus si aucun stimulus prospectif n'est présenté durant la session de tâches expérimentales subséquentes.

Nous prévoyons que l'effet d'interférence prospectif (EIP) sera éliminé pour les conditions qui suivent l'accomplissement de la tâche de MP et que la performance des deux groupes de contrebalancement sera équivalente.

Cette méthode permettra de contrôler pour l'effet de fatigue et de pratique

The impact of a within-subject design and self-reported strategy on the prospective
interference effect

Véronique Paradis, M.Ps. ¹

Isabelle Rouleau, Ph.D. ¹⁻²

1. Cognitive Science Institute and Department of Psychology, Université du Québec à Montréal, CP 8888, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8
2. Neurology Service, Hôpital Notre-Dame, Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, 1560, rue Sherbrooke Est, Montréal (Québec), Canada, H2L 4M1

Correspondance to:
Isabelle Rouleau, Ph.D.
Département de psychologie
Université du Québec à Montréal
CP 8888, Succursale Centre-Ville
Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8
Tel.: (514) 987-3000 #8915
Fax: (514) 987-7953
E-mail: rouleau.isabelle@uqam.ca

Abstract

Prospective memory (PM) refers to the creation of an intention, its maintenance over time and the execution of the intended action after a delay. Authors have questioned the use of within-subject designs (counterbalanced groups) in PM research. The goal of this study was therefore to assess the validity of this kind of protocol, since this methodological issue is still debated in the literature. We administered three types of ongoing tasks with and without an added PM component to two groups of subjects. We compared subjects who received the ongoing tasks + PM task before the control ongoing tasks with those who received the tasks in the reverse order. Results showed that the addition of a PM intention led to a slowing of response time on ongoing tasks, a prospective interference effect (PIE), which was equivalent between the two groups. These results suggest that subjects were able to forget the PM intention once they had completed it. Despite showing a comparable PIE on ongoing trials, we found that a subgroup of subjects self-reported maintaining the PM intention in mind at all times or periodically (monitoring), while another subgroup reported only automatic retrieval (automatic). The monitoring group showed a significantly higher accuracy on PM trials during the last ongoing task+ PM and this group also tended to show a greater cost during the most demanding ongoing task of the series. The validity of the PIE to assess the underlying cognitive processes engaged in PM is discussed.

Keywords: prospective memory, intentions, multiprocess theory, preparatory attentional processes, spontaneous retrieval

1. Introduction

Prospective memory (PM) is fundamental to daily living. It refers to the creation of an intention, its maintenance over time, the execution of the intended action after a delay and the evaluation of the outcome (Ellis & Milne, 1996). The important characteristic of a PM situation is that the intention cannot be fulfilled immediately and the delay between the creation and the realization of that intention is occupied by another activity (ongoing task). This delay is long enough and the ongoing activity is sufficiently demanding to prevent the conscious rehearsal of the intention in working memory. The action could be executed in the appropriate circumstance in the future, either at a specific point in time (time-based) or in a specific context (event-based). For example, an event-based intention could be to mail a letter when one sees the mailbox and a time-based intention could be to call someone in half an hour. Moreover, the execution of the intention is self-initiated, meaning that the ongoing task does not explicitly specify or prompt retrieval of the intention and this task has to be interrupted in order to accomplish the PM action (Burgess, Scott, & Frith, 2003). Therefore, the realization of a PM intention involves remembering the action to be executed and in what circumstances it has to be done (retrospective component) and initiating this action at the appropriate time or place (prospective component) (Einstein & McDaniel, 1990).

The processes that allow the detection of a PM cue (time or context) and retrieval of the intention are still under debate. One line of work suggests that the accomplishment of a PM task relies on strategic and controlled monitoring processes, recruiting attentional and working memory capacity (Smith, Hunt, McVay, & McConnell, 2007). Smith and Bayen (2004) proposed the PAM theory, which states that preparatory attentional processes are engaged to monitor the environment for the appearance of a PM cue and retrospective memory processes apply to recall the intended action once a cue has appeared. Likewise, Gynn (2003) has proposed a monitoring model based on two processes: prospective retrieval mode and target checking (RM + TC). This model suggests that a retrieval mode is tonically engaged

during a PM task, as in retrospective memory, to check for the appropriate circumstances (target cue or time interval) and retrieve the intended action, in combination with periodic target checking.

On the other hand, the multiprocess model (McDaniel & Einstein, 2000) suggests that it would not be adaptive to depend solely on monitoring processes, which monopolize cognitive resources, because people have often multiple simultaneous PM intentions in daily life and the delays between the formation and accomplishment of the intention can be considerable. Therefore, in this model, PM retrieval is supported by spontaneous/automatic and strategic processes depending on the conditions of the task. According to this view, the involvement of these processes would depend on the importance of the task, the nature of the cues, the relation between the cue and the action, the nature and difficulty of the ongoing task, the delay between the formation and execution of the intention, and individual and personality differences (Einstein & McDaniel, 2010). If the action is relatively simple, the target is salient, the association between that action and the target is strong, and the processes involved in the ongoing task include processing of the target, the target will be retrieved spontaneously.

Evidence of preparatory or strategic processes is usually found by observing a decline in accuracy and/or an increase in response time (RT) to non-targets in an ongoing task when a PM task is added, in comparison to the ongoing task alone. This phenomenon has been called the *prospective interference effect (PIE)* (Burgess, Quayle, & Frith, 2001; Einstein et al., 2005; Marsh, Hicks, Cook, Hansen, & Pallos, 2003; Smith, 2003). It is based on the assumption that if attentional resources are engaged to monitor the environment or maintain the intention, this effortful process should affect performance of the ongoing task. The engagement of preparatory processes would lead to slower RTs in the ongoing task trials, but also to greater PM accuracy. Conversely, if preparatory processes are less active, PM performance is expected to decrease and the PIE should be reduced (Smith & Bayen, 2004). The information associated with the PM cues, for example the number of PM cues and the

nature of the cues, has been shown to affect the intensity of interference effects (Cohen, Jaudas, & Gollwitzer, 2008; Marsh et al., 2003; West, Scolari, & Bailey, 2011). Preparatory processes may be the focus of attention, that is, the subject is aware of them (explicit strategic monitoring); they can also function outside of focal attention, consuming conscious resources nonetheless (Smith, 2003; Smith, Hunt, McVay, & McConnell, 2007). It is also hypothesized that these processes are more likely to be engaged at points of transition between activities in daily life (arriving or returning from work, after lunch, etc.). On the contrary, if retrieval occurs automatically, without the engagement of demanding strategic processes, adequate performance on the PM task should be observed without significant task interference (McDaniel & Einstein, 2000; Scullin, Einstein, & McDaniel, 2009). For example, Einstein et al. (2005) observed no cost to the ongoing task with the addition of a PM intention when a single focal PM target was used, despite high PM performance; this suggests that spontaneous retrieval occurred. Several studies have nonetheless observed a cost to ongoing performance when a PM instruction is added, even for a single salient cue, simple action, focal processing and strong association between action and cue. These results regarding the PIE and the underlying process have thus been a matter for debate (Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith et al., 2007).

Goschke and Kuhl (1993) stated that intentions stay in memory with a heightened activation; they called this effect the *intention superiority effect (ISE)*. In their experiments, participants had to learn pairs of scripts (e.g., setting the table for dinner), composed of five related actions (e.g., spread the tablecloth, distribute the cutlery). After the learning phase, subjects were informed which scripts they would have to perform later during the experiment (prospective script). The researchers recorded faster response latencies during the subsequent recognition test for the prospective script than the neutral script (no intention). Moreover, they demonstrated that the prospective script had to be an action to be performed by subjects themselves to result in faster RTs, as opposed to an intention that involved subjects observing

someone else accomplishing the action. They argued that the intention to fulfill a self-performed action resides in memory with a privileged status and the memory trace of those intentions decays more slowly than neutral content. Marsh, Hicks, and Bink (1998) also observed that uncompleted and interrupted intentions retained their special status in memory – their heightened accessibility – as shown by the faster RTs on those items compared to neutral one. On the other hand, they found that, after completing the intentions, the PM constituents lost activation, were less available or seemed inhibited, as manifested by the slower response latencies in those conditions. The authors assumed that, in parallel to theories of action control, in order to be adaptive, people must deactivate information in working memory to be able to reorient their attention to the task.

Using event-related potentials (ERP), West, McNerney, and Travers (2007) observed a slowing of RTs on the ongoing task during the performance of a PM task, suggesting that a prospective retrieval mode was in action. They found sustained activity over frontal and occipito-parietal regions, which they suggest could reflect item checking. They also showed that cancelling an intention restrained the activation of cue detection, intention retrieval and post-retrieval processes. Another study, by West (2007), also found that, while the N300 and prospective positivity were limited to prospective hits, the parietal old-new effect was present for prospective hits, ignored prospective cues and prospective misses. He suggested that engagement of strategic monitoring was necessary to detect PM cues and post-retrieval processing, and that some information about the PM cue appeared to be retrieved from memory even when the intention was not realized. It could mean that the PM cue was recognized, but it was competing with the response linked to the ongoing activity, which required strategic processes. West and colleagues also observed that RTs were still longer in conditions where strategic monitoring was not necessary, suggesting that some of the processes linked to the PIE may not be completely suspended when the intention is accomplished or when the PM cues are irrelevant. Item checking

could be interrupted if an intention is completed but prospective retrieval mode may continue long afterward (West, 2007).

These results raised issues concerning the type of design used in PM experiments. While some authors use within-subject designs, counterbalancing the control block and the PM block (Einstein & McDaniel, 2010), which means that half the subjects have to execute the PM task first, others prefer to use control groups to measure the effect of a PM intention on the ongoing task performance (Smith et al., 2007). Smith et al. (2007) believed that using a within-subject protocol underestimated task interference. In particular, they mention the study by Guynn (2005), which showed that when a PM instruction was given before the control block, performance on the ongoing task was affected in comparison to a group without the PM instruction, even if the subjects were told not to perform the PM task. To prevent that effect, in a functional magnetic resonance imaging (fMRI) study of PM memory, Simons, Scholvinck, Gilbert, Frith, and Burgess (2006) used “uncontaminated” ongoing blocks, which were always administered before the “contaminated” session with an added PM component, to make sure that the PM intention would not interfere with the ongoing task, as might be the case if it was administered afterward. While this kind of protocol ensures that the processes occurring during the PM task are not still in action during the ongoing task alone, it is subject to order and fatigue effects. Einstein and McDaniel (2010), however, stated that counterbalancing is an appropriate method to study PM task interference. They consider that it is a traditional way of controlling for practice and fatigue effects in experimental psychology and assume that subjects would not allocate attentional resources during a task that no longer necessitates them. This methodological issue is still being debated in the PM literature, and it is not clear which protocol a PM researcher should choose (Burgess, Gonen-Yaacovi, & Volle, 2011; Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith et al., 2007). The present study was therefore designed to examine the differences between two groups of subjects who were given three types of ongoing tasks with an added PM component in a within-subject design. We compared one

group of subjects who received the PM task before the control ongoing tasks with a group of subjects who received the tasks in the reverse order.

2. Materials and Methods

2.1 Participants

Sixteen right-handed native French speakers (8 men and 8 women, mean age: 24.75 years old, SD: 4.0), with no history of neurological or psychiatric disorders or of substance abuse, participated in the experiment (voir appendice A). The subjects were randomly assigned to each group of counterbalancing and the groups were equivalent in terms of age, sex and education (A: 25 years old, SD: 3.46; 18.38 years of education, SD: 3.58/ B: 24.5 years old, SD: 5.42; 16.5 years of education, SD: 2.83). Financial compensation of \$30 was given to each subject. The experiment was conducted with an fMRI protocol and neuroimaging data are presented elsewhere (Paradis et al., submitted). We focus in the present article on the behavioral data related to counterbalancing. Written informed consent was obtained from all participants prior to the study (voir appendice C). The experiment was approved by the Quebec Bio-Imagery Network and the Centre Hospitalier de l'Université de Montréal ethics committee and was conducted in accordance with the Helsinki Declaration.

2.2 Experimental tasks and procedure

The experiment was divided into two distinct phases: (1) a series of three control ongoing tasks without prospective memory instruction: a semantic/perceptual decision task (SPD), a contextual recollection task (CR) and a recognition task (RN); and (2) the same three types of ongoing tasks with new stimuli (in the same order and with the same parameters), but with an added PM instruction (SPD+, CR+, RN+). To examine the effect of the within-subject design on performance, the order of these two phases was counterbalanced across subjects. Group A ($n = 8$) was given the control ongoing tasks at the beginning of the experiment, then received the PM

instruction, followed by the series of ongoing tasks+. Group B started the experiment with the PM instruction, followed by the series of tasks with the added PM task (SPD+, CR+ and RN+). At the end of the third ongoing task+, subjects in group B were instructed that the PM task was completed and they should ignore it for the rest of the experiment (SPD, CR and RN). An attention task (d2) (adapted from Brickenkamp, 1966), was inserted after the PM instruction for both groups to create a delay (4 minutes) between the formation and the execution of the PM intention and to prevent subjects from rehearsing the prospective instructions. All the experimental tasks were constructed using E-Prime software (Psychology Software Tools, Inc., Pittsburgh, PA), controlled with a PC computer. Participants indicated their answers by pressing buttons on a keypad (forefinger and middle finger). The stimuli were randomized within each task.

During the **semantic/perceptual decision task (SPD)**, participants were asked to make either a semantic “natural or man-made” or a perceptual “smaller than a chair or bigger than a chair” decision concerning color pictures of animals, insects, plants, objects, etc. Pictures were selected from Hemera Photo Objects and included an equal percentage of natural items smaller than a chair (e.g., *apple*), natural items bigger than a chair (e.g., *cow*), man-made items smaller than a chair (e.g., *fork*), and man-made items bigger than a chair (e.g., *bus*). Eight blocks (4 semantic blocks/4 perceptual blocks), counterbalanced across subjects, were presented and two versions of the task were used. The SPD task was used to provide a particular context associated with each stimulus (i.e., the type of judgment made for each stimulus) that the participant was instructed to remember in order to perform the CR task.

In the **contextual recollection task (CR)**, for each item presented initially in the SPD task, participants were asked to determine which kind of decision they had made: semantic (natural/man-made) or perceptual (smaller than a chair/bigger than a chair).

In the **recognition task (RN)**, subjects had to determine whether the pictures presented on the screen had already been presented in the previous tasks (SPD and

CR) or whether they were new items. Half of the stimuli presented were old items and half were new ones. The proportion of stimuli belonging to each category (natural, man-made, smaller/bigger than a chair) was maintained for the old and new items.

Each task (SPD, CR, RN) contained 48 items presented one by one in the middle of a white screen, each lasting 4000 ms, comprising a 3500-ms stimulus and an intertrial interval of 500 ms (white screen). In the SPD task, instructions were presented at the beginning of each block of tasks (semantic or perceptual; 6 items). In the CR and RN tasks, instructions were presented once at the beginning of each task. The response choices were always presented at the bottom of the screen for each stimulus in each task. After each block of experimental tasks, a block of an unrelated task lasting 24 seconds was administered as part of the fMRI protocol. In the control task, scrambled abstract pictures were presented on a white screen and subjects were asked to press a key randomly.

Instructions for the prospective memory (PM) task were presented on the screen, prior to the beginning of the series of ongoing tasks + PM. Subjects were told that during the execution of the following ongoing tasks+, whenever a picture of a musical instrument was presented (PM cue), they were to ignore the current task and instead press a third key (the thumb: PM response). Subjects were asked to summarize the instructions orally and a short practice session was administered to ensure comprehension of the PM instruction. Hence, participants had to answer by pressing one of two buttons to indicate their choice during the three ongoing tasks+, but they had to press the thumb button, without any reminder, when the picture was a musical instrument (PM cue).

Each task contained 8 prospective cues, equivalent to 17% of the total stimuli presented. To allow the comparison of the performance on blocks associated with PM intention maintenance and on those associated with the execution of the PM intention, half of the blocks in the ongoing tasks+ contained no prospective cue. To reduce the possibility of anticipating the cues, the order of the blocks containing the

prospective cues and the position of the cues within the blocks were counterbalanced across tasks. To ensure that subjects were fully engaged in the ongoing tasks, there was no PM cue during the first block of each task. There were no pictures of musical instruments during the series of tasks without the PM instruction. At the end of the experiment, a short verbal questionnaire was administered by the experimenter to get feedback from all subjects about the experiment and the prospective memory task (e.g., level of difficulty of the PM task, strategy used, “pop-up” experience [see below], etc.) (voir appendice E).

3. Results

3.1 Ongoing tasks

The distributions of the RTs were normal for all tasks. Extreme response times (i.e., two standard deviations from the mean) within each task for each subject were removed (Einstein et al., 2005; Scullin et al., 2009). Accuracy scores were converted into percentages to allow comparison across tasks. A ceiling effect was observed for the accuracy scores in the SPD and RN. These variables were dichotomized (100% or less than 100%) for subsequent analysis.

Accuracy scores in percentages during the different ongoing tasks (SPD, CR, RN), with or without PM, are presented in table 1. McNemar tests performed on dichotomized variables representing accuracy scores during the ongoing tasks showed that there was no difference in ongoing task performance when a PM task was added. These results are similar for the two counterbalanced groups. Paired t-tests also demonstrated that there was no difference in performance during the CR task, for the two groups.

[Insert Table 1 here]

Response times (in ms) noted during each task are presented in figure 1. To determine whether counterbalancing the order of the PM task could influence RTs during the ongoing tasks with or without a PM task, a 2 (Condition: with or without PM) X 3 (Task: SPD, CR, RN) repeated measures analysis of variance (ANOVA)

was done between the groups (counterbalancing). The analysis revealed a main effect of Task on response times, $F(2, 28) = 113.02$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.89$. Post hoc comparisons showed that mean RTs for the different ongoing tasks were all different ($p < .05$). There was a main effect of Condition, meaning that RTs were slower during all ongoing tasks when a PM task was added, $F(1, 14) = 30.51$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.69$. This is suggestive of a prospective interference effect. There was no Task X Condition interaction, so the differences in RTs between ongoing tasks+ and control ongoing tasks were equivalent for the different types of tasks, $F(2, 28) = 0.46$, $p = .955$, $\eta^2 = 0.003$. RTs of subjects who received the PM task at the beginning or at the end of the experiment were not statistically different, since there was no Group effect, $F(1, 14) = 1.46$, $p = .247$, $\eta^2 = 0.095$. There was no other interaction effect ($p < .05$), indicating that the PIE observed was similar for the two groups. This result could not be solely due to a lack of power related to the small sample size since the achieved power, generated by G*Power 3.1.3 (Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007) for the Condition X Group interaction was 0.999.

[Insert figure 1 here]

To determine whether RTs during ongoing tasks+ differed between the maintenance blocks (without PM cues) and the retrieval blocks (with PM cues), a 2 (Block) X 3 (Task) repeated measures ANOVA was done between the two groups (counterbalancing). We did not find a main effect of Block on RTs, $F(1, 14) = 0.352$, $p = .562$, $\eta^2 = 0.025$, nor a main effect of Group, $F(1, 14) = 0.643$, $p = .436$, $\eta^2 = 0.44$. There was, however, a main effect of Task, $F(2, 28) = 89.813$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.87$, indicating that RTs differed for the different ongoing tasks+. RTs were slower during CR+, followed by SPD+ and finally RN+ (see table 2). There was no significant interaction effect ($p > .05$). These results suggest that the addition of a PM task led to a slowing of the RTs during ongoing tasks+, whether PM cues were present (retrieval block) or not (maintenance block) during the block.

3.2 PM task

Accuracy scores (%) on the PM cues are shown in table 2. A ceiling effect was found for PM cue detection scores in all ongoing tasks. Results on the PM task were dichotomized for the analysis (100% or less than 100%). McNemar tests were performed for each kind of ongoing task to examine PM task accuracy during the three ongoing tasks+. The analysis did not reveal significant differences in PM accuracy between SPD+ and CR+ ($p = .063$, $\eta^2 = 0.20$), SPD+ and RN+ ($p = .22$, $\eta^2 = 0.09$), or CR+ and RN+ ($p = 1$, $\eta^2 = 0$). There was no difference in PM cue detection between the groups (see table 3). McNemar tests failed to reveal significant differences in the accuracy scores on the PM cues during the ongoing tasks within each counterbalanced group ($p > .05$).

RTs on PM trials during each ongoing task are presented in table 2. To determine whether the two counterbalanced groups showed different RTs for the PM cues, an ANOVA with repeated measures on tasks between the groups (counterbalancing) was performed. First of all, it revealed a significant difference between the RTs for PM cues depending on the ongoing tasks, $F(2,28) = 13.59$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.49$. Post hoc analysis showed that RTs for PM cues were slower during SPD+ than CR+ ($p = .004$) and RN+ ($p < .001$). RTs tended to be slower during the CR+ task than the RN+ task, but this difference was not significant ($p = .067$). There was no Group effect for the RTs for PM cues, $F(1, 14) = 0.75$, $p = .79$, $\eta^2 = 0.005$, and no Task X Group interaction, $F(2,28) = 0.464$, $p = .634$, $\eta^2 = 0.32$. Therefore, there was no significant difference between the RTs for PM cue detection between the two counterbalanced groups.

[Insert Table 2 here]

3.3 Strategy

A short questionnaire was administered after the experiment to examine the processes or strategies used by subjects to remember the PM instructions. Three subjects said that they had maintained the PM instruction at all times during the ongoing tasks with PM, seven subjects claimed that the PM intention automatically

popped into their mind when a PM cue appeared, and six subjects reported both kinds of processes. In the latter group, most subjects said that they had maintained the PM instruction more at the beginning of the series of tasks, but it became more automatic as the tasks went on or it was periodically reactivated/rehearsed when a PM cue was encountered. The subjects were segmented into two groups for the statistical analysis: subjects who maintained the instruction at all times/during part of the experiment (monitoring; $n = 9$) and subjects who reported only a “pop-up” experience (automatic; $n = 7$). Accuracy score (%) and RTs on ongoing tasks+ and PM task as a function of strategy are presented on table 4.

3.3.1 Strategy and ongoing tasks+

We first explored performance (accuracy and RTs) during ongoing tasks as a function of strategy. Pearson's χ^2 test showed that there was no difference in the accuracy score on the ongoing tasks+ as a function of the strategy used in SPD+, $\chi^2 (1) = 0.042$, $p = .838$, $\eta^2 = 0.003$ and RN+, $\chi^2 (1) = 1.165$, $p = .280$, $\eta^2 = 0.07$. An independent sample t-test showed that the accuracy score tended to differ between strategy groups during the CR+, $t (14) = 2.11$, $p = .053$. The automatic group obtained a higher accuracy score ($M = 79.63$ $SD = 4.92$) than the monitoring group ($M = 73.76$ $SD = 5.93$) in that task. This effect was specific to the CR+, since the accuracy score in the CR without PM was similar between the two groups, $t(14) = 0.89$, $p = .39$. Next, we wanted to determine whether the kind of strategy reported by subjects could have influenced RTs during ongoing tasks. Thus, we performed a 3 (Task) X 2 (Condition: with and without PM) ANOVA with repeated measures between the two kinds of strategy and the two counterbalanced groups on RTs during the ongoing tasks. We also wanted to verify whether the counterbalanced groups could have adopted different strategies during the execution of the PM task and if those strategies could have affected RTs. There was no Strategy effect on RTs, $F (1, 12) = 1.43$, $p = .254$, $\eta^2 = 0.107$, and no interaction effect ($p > .05$). Hence, the type of

strategy subjects reported using to accomplish the PM task had no influence on RTs during the ongoing tasks or on the PIE observed. The order of administration of the PM task had no additional effect on that variable either.

3.3.2 Strategy and PM task

In a second step, we examined the potential effect of the kind of strategy on PM task performance. Pearson's χ^2 test showed no difference between the accuracy score on the PM cues as a function of the strategy used in the SPD+, $\chi^2(1) = 0.004$, $p = .949$, $\eta^2 < 0.001$ and the CR+, $\chi^2(1) = 0.036$, $p = .849$, $\eta^2 < 0.001$. There was, however, a significant difference in the RN+, $\chi^2(1) = 4.75$, $p = .029$, $\eta^2 = 0.30$. All the subjects in the monitoring group had 100% accuracy on PM cue detection during that task, in comparison to the automatic group, in which only 57% of subjects had a perfect score. An ANOVA with repeated measures on tasks (3) was done between the kinds of strategy and the counterbalanced groups to examine differences in RTs for the PM cues. There was no Strategy effect on the RTs on the PM cues, $F(1, 12) = 0.517$, $p = .486$, $\eta^2 = 0.041$. No other main effects or interactions reached significance ($p > .05$).

[Insert Table 3 here]

We explored the relation between accuracy scores and RTs on the ongoing tasks and on the PM task to examine whether greater PM accuracy was related to slower RTs on ongoing tasks+, as expected if preparatory processes were engaged (Smith & Bayen, 2004). There was no significant correlation between accuracy on PM trials and RTs on ongoing trials+ within the same task ($p < .05$). The analysis revealed no correlation between accuracy on PM trials and ongoing trials+ within the same task. We also found no significant correlation between accuracy and RTs on the ongoing tasks+, which could have indicated a speed-accuracy trade-off (Smith et al., 2007).

4. Discussion

4.1 Within-subject design

Authors in the PM literature have conflicting points of view concerning the type of method to use in PM research. While some prefer a within-subject design to study the cost associated with the addition of a PM task, others favor between-group comparisons. Different authors have questioned the validity of each protocol (Burgess et al., 2011; Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith et al., 2007). One key element is to determine whether subjects performing the PM task first can adequately suppress the intention during the remainder of the experiment when the PM instruction is no longer relevant. Studies have shown inconsistent results related to this question using different research paradigms, and some doubt remains regarding the use of within-subject designs (Burgess et al., 2011; Guynn, 2005; Marsh et al., 1998; Scullin et al., 2009; West et al., 2007). The goal of this study was therefore to examine in detail the differences between two groups in a within-subject design, that is to say, the effect of counterbalancing the administration of the PM intention (before or after the control ongoing tasks). We wanted to explore the difference in the PIE between the two groups, namely the impact of the addition of a PM task on response times and accuracy on ongoing tasks and PM trials. Unlike previous studies, we did not include the target item (i.e., musical instrument) during the control ongoing task because we wanted to examine the validity of the within-subject protocol instead of the residual processing of the same cues in different contexts (with or without PM instruction). This was done to eliminate any potential “automatic” retrieval of the PM instructions when subjects saw a PM cue (Einstein et al., 2005; West, 2007) and to verify whether subjects could really eliminate the PM intention once they had completed it.

First of all, like previous studies (Marsh et al., 2003; Smith, 2003), we did not observe an impact of the PM instructions on ongoing task accuracy. On the other hand, we found a significant PIE on RTs when a PM task was added to three types of ongoing tasks (mean slowing of 117 ms in the SPD task, 135 ms in the CR and 133

ms in the RN). Most importantly, this effect was similar for both groups. While group A (PM instruction second) was subject to a practice effect on ongoing tasks+ that could have reduced the magnitude of the PIE, group B (PM instructions first) was more prone to a practice effect on the ongoing task that could have inflated the PIE. When the results of both groups were combined, it was possible to observe a mean PIE on these tasks that did not differ between groups. The magnitude of the PIE has been shown to be influenced by the number and nature of targets, the nature of the ongoing tasks, the relation between targets and non-targets, etc. (Marsh et al., 2003; Smith & Bayen, 2004; Smith et al., 2007). In our study, the PIE was not statistically different between the different ongoing tasks, even though their level of difficulty and complexity varied. We used eight different items as PM cues, belonging to a single semantic category. The processing of the stimuli seemed sufficiently deep during each ongoing task to allow good performance on the PM task, as shown by the ceiling effect.

One could argue that since subjects were instructed to respond on the PM trials instead of the ongoing trials, the PIE might be due to subjects withholding their responses on the ongoing tasks. Smith et al. (2007) and Smith and Bayen (2004) investigated this issue and found a slowing of RTs when a PM task was added, even when subjects were instructed to respond to the ongoing task on every trial. They suggested that the probability of engaging preparatory processing did not change if a response was required on every ongoing trial. Moreover, as Burgess et al. (2001) reported, we did not find a difference in the PIE between the two kinds of blocks: maintenance (no PM cues) and retrieval (with PM cues). These results suggest that the observed slowing of RTs during ongoing tasks+ PM could not be solely attributed to the different motor response required in that phase. Rather, they suggest that the PM task has a more general cost.

The absence of differences between the two counterbalanced groups is in line with an experiment by Scullin et al. (2009) in which subjects were given an ongoing task (image-rating) in addition to a PM task (pressing a key when a target word

appeared). One group of participants was later instructed to suspend the execution of the PM task during a few blocks of trials (lexical decision task), even though the target words appeared several times during those blocks; the other group was told that the PM task was finished. The authors found that when the intention was suspended, RTs were still slower for target words than control words, but this effect disappeared when the task was said to be completed. They suggested that target cues linked to suspended intentions can spontaneously lead to remembering, whereas completed intentions, on the other hand, are deactivated. Moreover, they considered that since these blocks of tasks did not require monitoring processes to be engaged and did not necessitate the execution of the PM task, the target words could have automatically triggered some processing associated with retrieval. They interpreted these results within the frame of the multiprocess theory (McDaniel & Einstein, 2000) and hypothesized that spontaneous retrieval processes were deactivated after completion of the prospective memory task.

Marsh, Hicks, and Cook (2006) designed an experiment where half the subjects were not told when the PM cues would appear during the three parts of the experiment and the other half were informed that the PM cues would only be presented in the last part. They showed that subjects could withhold their intention, avoiding monitoring or rehearsal of the intention until they reached the appropriate context to perform the PM task. Task interference was therefore eliminated in that condition, in comparison to the one where subjects were not informed of the exact context in which they would encounter the PM cues. Goschke and Kuhl (1993) argued that intentions have a particular status in memory that persists longer than other types of material and this phenomenon could be an efficient way of inhibiting competing goals and focusing on the execution of the appropriate intention. On the other hand, if activation persists beyond the appropriate context or unnecessarily, it could interfere with ongoing activities and with current intentions, and lead to intrusions. The deactivation or inhibition of the PM intention after its completion would therefore allow us to forget the numerous intentions that we formed in

everyday life, reducing the burden on cognitive resources (Marsh et al., 1998; Scullin et al., 2009).

4.2 The prospective interference effect and underlying PM processes

The slowing of RTs to ongoing tasks when a PM intention is added – that is, the PIE – has been widely used to assess the underlying cognitive processes. Smith and Bayen (2004) measured the involvement of preparatory attentional processing and retrospective memory using a multinomial model. They found that the manipulation of task importance affected the preparatory processing parameter and an increase in the estimates of that variable was accompanied by an augmentation in RTs on the ongoing task. An ERP study also showed that the RTs on ongoing task trials that preceded PM hits were longer than those that preceded PM misses (West, Krompinger, & Bowry, 2005). The authors suggested that a variation in or disruption of preparatory attentional processes during the task could have led to a failure in PM cue detection. Some authors have, however, questioned the use of the PIE to study the processes underlying PM, because of conflicting results. Einstein and McDaniel (2010) argued against the use of cost performance as a decisive argument in favor of PAM or multiprocess theories. They believed that finding a significant cost for the ongoing task only shows that enough subjects used preparatory attentional processes on a sufficient number of trials to produce a general slowing on the ongoing task. For example, they found that a subgroup of subjects showed faster RTs on ongoing tasks in the PM condition, with a PM task accuracy equivalent to the group that showed slower RTs (Einstein et al., 2005). West et al. (2007) also showed that an ERP signal attributed to strategic monitoring was found on trials preceding PM cues, but the behavioral data showed a PIE on trials before and after PM cues. They concluded that the PIE could be an imprecise indication of the strategic processes involved; it may remain for some time even if the context changes and the PM cue is no longer pertinent to the task. As well, monitoring and rehearsal of the PM intention could fluctuate during the performance of the task and averaging the PIE over a block of

tasks could be an imprecise indicator of the specific processes engaged for one particular PM cue (Scullin et al., 2009).

In the present study, the RTs for ongoing task trials and the PIE did not change between subjects who reported monitoring and those who reported a pop-up experience. Some subjects also reported a variable application of strategic monitoring over the course of the experiment. It remains possible, though, that those subjects may not have been fully aware of the real processes at play during the execution of the ongoing tasks in addition to the PM task. In that regard, Smith et al. (2007) mentioned that preparatory processes could be the focus of attention (explicit strategic monitoring) or could also be outside focal attention but still consume conscious resources. On the other hand, we found that accuracy scores tended to be higher in the automatic group than in the monitoring group during the CR+ task. This could mean that the monitoring group showed a greater cost of the PM component during that task, which was more demanding than the other ongoing tasks. This task, which required more retrieval effort and was more difficult, as reflected by lower accuracy scores in comparison to the SPD and RN tasks, could have been more sensitive to the load of strategic processes engaged by that group.

We observed that the RTs on PM trials in our experiment tended to get faster as the experiment progressed, which could suggest a practice effect on the PM task, as subjects got better at detecting PM cues. However, we found a significant difference in PM trial accuracy during the RN task when we compared the groups who reported maintaining the PM intention at all times or periodically (monitoring) and the group who reported automatic retrieval only (automatic). The monitoring group had a perfect score on PM trials during the last ongoing task, while in the automatic group only 57% of subjects detected all the PM cues. Successful PM performance has been associated with post-experiment self-reported monitoring in earlier studies (Cherry & LeCompte, 1999; Einstein & McDaniel, 1990). One possible explanation could be that the monitoring group had a more stable performance and could sustain and even improve their performance across the series

of ongoing tasks. The group who reported using no monitoring could have been more sensitive to fatigue and showed a subtle fluctuation in their performance on PM trials at the end of the experiment. The PAM theory predicts that, if preparatory processes are engaged, higher PM accuracy should be found along with slower RTs on ongoing tasks. However, we found no significant correlation between PM task accuracy and RTs during ongoing trials. It remains possible that the ceiling effects on PM trial accuracy could have limited the analysis.

5. Conclusion

In conclusion, these results suggest that a within-subject protocol is an appropriate method to study PM and the associated PIE (Einstein & McDaniel, 2010). It represents an adequate way of controlling for fatigue and practice effects and is an appropriate protocol to compare subjects against their own performance. It could also be a great cost-benefit solution in studies using elaborate or expensive technology (e.g., fMRI, ERP, etc.). Using post-experiment self-reports, we found that a subgroup of subjects reported maintaining the PM intention in mind at all times or periodically (monitoring) while another subgroup reported only automatic retrieval (automatic). Since both groups had a comparable PIE on response times, the mean PIE may not be the best indicator of the underlying processes involved during the performance of a PM task (Einstein & McDaniel, 2010; Einstein et al., 2005). On the other hand, our results suggested that the monitoring group may have benefited from these preparatory processes to sustain and improve their performance on the PM task throughout the series of tasks. Moreover, this group tended to show a greater cost of the engagement of these processes during the most difficult and demanding ongoing task (CR+) of the series. These results seem to be in accordance with the multiprocess theory (McDaniel & Einstein, 2000), which states that PM retrieval may be supported by both automatic and strategic processes depending on the task conditions and individual preferences. Given the discrepancy between the presence of a general PIE on RTs and the processes identified by subjects, more work will be

needed to better clarify the relation between the PIE and underlying processes. The subdivision of subjects based on their subjective reports of their strategy during the execution of a PM task seems to be an interesting avenue to investigate those underlying processes.

Acknowledgements

This research was supported by CRSNG and FQRNT scholarships (V. Paradis) and by FRSQ research grant. We would like to thank Jean Bégin for his suggestion for the statistical analysis of the behavioural data.

6. References

- Brickenkamp, R. (1966) Le test d'attention concentrée. Editest. Paris
- Burgess, P. W., Gonen-Yaacovi, G., & Volle, E. (2011). Functional neuroimaging studies of prospective memory: What have we learnt so far? *Neuropsychologia*, 49, 2246–2257.
- Burgess, P. W., Quayle, A., & Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 39, 545–555.
- Burgess, P. W., Scott, S. K., & Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: A lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, 41, 906–918.
- Cherry, K. E., & LeCompte, D. C. (1999). Age and individual differences influence prospective memory. *Psychology and Aging*, 14, 60–76.
- Cohen, A. L., Jaudas, A., & Gollwitzer, P. M. (2008). Number of cues influences the cost of remembering to remember. *Memory and Cognition*, 36, 149–156.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 717–726.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2010). Prospective memory and what costs do not reveal about retrieval processes: A commentary on Smith, Hunt, McVay, and McConnell (2007). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36, 1082–1088; discussion 1089–1095.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Thomas, R., Mayfield, S., Shank, H., Morrisette, N., et al. (2005). Multiple processes in prospective memory retrieval: Factors determining monitoring versus spontaneous retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134, 327–342.
- Ellis, J. A., & Milne, A. (1996). Retrieval cue specificity and the realization of delayed intentions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 862–887.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175–191.
- Goschke, T., & Kuhl, J. (1993). Representation of intentions: Persisting activation in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19, 1211–1226.
- Guynn, M. J. (2003). A two-process model of strategic monitoring in event-based prospective memory: Activation/retrieval mode and checking. *International Journal of Psychology*, 38, 245–256.
- Guynn, M. J. (2005, November). *Monitoring in event-based prospective retrieval: Retrieval mode instantiation plus target event checks*. Poster presented at the annual meeting of the Psychonomic Society, Toronto, Ontario, Canada.

- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Bink, M. L. (1998). The activation of completed, uncompleted and partially completed intentions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24, 350–361.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2006). Task interference from prospective memories covaries with contextual associations of fulfilling them. *Memory and Cognition*, 34, 1037–1045.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., Cook, G. I., Hansen, J. S., & Pallos, A. L. (2003). Interference to ongoing activities covaries with the characteristics of an event-based intention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29, 861–870.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multiprocess framework. *Applied Cognitive Psychology*, 14, S127–S144.
- Paradis, V., Rouleau, I., Gravel, P., Leroux, J.-M., Brambati, M.S., Nguyen, D.K. (Submitted) Common and distinct neural correlates of retrospective and prospective memory retrieval.
- Scullin, M. K., Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2009). Evidence for spontaneous retrieval of suspended but not finished prospective memories. *Memory and Cognition*, 37, 425–433.
- Simons, J. S., Scholvinck, M. L., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Differential components of prospective memory? Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 44, 1388–1397.
- Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29, 347–361.
- Smith, R. E. (2010). What costs do reveal and moving beyond the cost debate: Reply to Einstein and McDaniel (in press). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36, 1089–1095.
- Smith, R. E., & Bayen, U. J. (2004). A multinomial model of event-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 30, 756–777.
- Smith, R. E., Hunt, R. R., McVay, J. C., & McConnell, M. D. (2007). The cost of event-based prospective memory: Salient target events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 33, 734–746.
- West, R. (2007). The influence of strategic monitoring on the neural correlates of prospective memory. *Memory and Cognition*, 35, 1034–1046.
- West, R., Krompinger, J., & Bowry, R. (2005). Disruptions of preparatory attention contribute to failures of prospective memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, 502–507.
- West, R., McNerney, M. W., & Travers, S. (2007). Gone but not forgotten: The effects of cancelled intentions on the neural correlates of prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 64, 215–225.

West, R., Scolari, A. J., & Bailey, K. (2011). When goals collide: The interaction between prospective memory and task switching. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 65, 38–47.

Table 1.
Accuracy (%) on ongoing tasks, with and without a PM component, for the two counterbalanced groups

		Accuracy (%)			
		Control ongoing tasks	Ongoing tasks +PM	Differences (PIE)	
		M (SD)	M (SD)	M (SD)	
SPD	A	99.46 (1.01)	99.65 (0.98)	0.195 (1.45)	$p = 1.0, \eta^2 = 0$
	B	99.44 (1.03)	98.37 (1.95)	-1.07 (2.28)	$p = .63, \eta^2 = 0.03$
	Total	99.45 (0.98)	99.01 (1.63)	-0.44 (2)	$p = 1.0, \eta^2 = 0$
CR	A	79.95 (7.83)	75.22 (5.93)	-4.73 (9.73)	$t(7) = -1.29, p = .24, r = 0.127$
	B	80.12 (8.94)	79.47 (10.23)	-2.68 (8.4)	$t(7) = -0.18, p = .86, r = 0.445$
	Total	80.03 (8.12)	77.34 (8.37)	-3.71 (9.19)	$t(15) = -1.07, p = .30, r = 0.190$
RN	A	98.08 (2.5)	98.68 (1.42)	0.60 (3.30)	$p = 1.0, \eta^2 = 0$
	B	98.31 (2.63)	97.67 (2.25)	-0.65 (1.89)	$p = .63, \eta^2 = 0.03$
	Total	98.2 (2.48)	98.17 (1.89)	-0.02 (2.81)	$p = .75, \eta^2 = 0.01$

A: order of presentation: Ongoing tasks alone/Ongoing tasks + PM
 B: order of presentation: Ongoing tasks + PM/Ongoing tasks alone
 McNemar exact test on dichotomized data

Table 2.
Accuracy (%) and response times (ms) for PM trials during each ongoing task for the two counterbalanced groups

		A	B	Total	
SPD	Accuracy	92.19 (9.3)	95.31 (6.47)	93.75 (7.91)	$\chi^2 = 0.254, p = .614, \eta^2 = 0.02$
	RT	1110 (193)	1171 (235)	1140 (210)	
CR	Accuracy	98.44 (4.42)	98.44 (4.42)	98.44 (4.27)	$\chi^2 = 0, p = 1, \eta^2 = 0$
	RT	1044 (161)	1059 (271)	1052 (215)	
RN	Accuracy	100	95.31 (6.47)	97.66 (5.04)	$\chi^2 = 3.7, p = .06, \eta^2 = 0.23$
	RT	981 (192)	989 (242)	985 (211)	

A: order of presentation: Ongoing tasks alone/Ongoing tasks + PM

B: order of presentation: Ongoing tasks + PM/Ongoing tasks alone

Table 3.

Accuracy (%) and response times (ms) on ongoing tasks+ and on PM task as a function of strategy (Monitoring or Automatic)

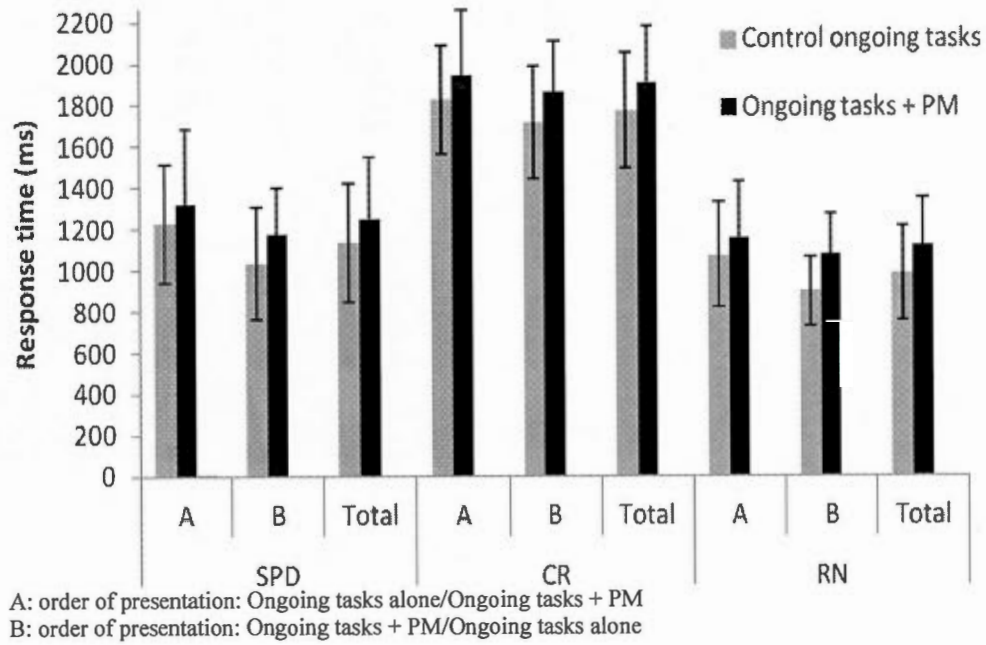
			Ongoing tasks+ PM	Differences (PIE)*	PM task
			M (SD)	M (SD)	M (SD)
SPD	Accuracy	M	98.83 (1.91)	-0.43 (2.3)	93.06 (9.08)
		A	99.25 (1.29)	-0.44 (1.7)	94.64 (6.68)
	RT	M	1135 (193)	77 (169)	1095 (186)
		A	1394 (368)	170 (136)	1199 (240)
CR	Accuracy	M	73.76 (5.93)	-4.67 (10.35)	98.61 (4.16)
		A	79.63 (4.92)	-2.46 (8.07)	98.21 (4.72)
	RT	M	1912 (309)	159 (227)	1036 (170)
		A	1895 (249)	104 (212)	1071 (276)
RN	Accuracy	M	98.82 (1.40)	0.04 (2.97)	100
		A	97.34 (2.21)	-0.10 (2.83)	94.64 (6.68)
	RT	M	1037 (169)	88 (120)	936 (170)
		A	1217 (275)	191 (124)	1048 (255)

M: Monitoring group A: Automatic group

* Ongoing tasks + PM minus ongoing tasks alone

Figure 1.

Response times (ms) on ongoing task trials, with and without a PM component, for the two counterbalanced groups



CHAPITRE III

DEUXIÈME ARTICLE : COMMON AND DISTINCT NEURAL CORRELATES OF RETROSPECTIVE AND PROSPECTIVE MEMORY RETRIEVAL

Problématique

Les études en TEP et en IRMf au sujet de la mémoire prospective sont encore très peu nombreuses et davantage de travaux seront nécessaires afin de déterminer avec exactitude quelles régions cérébrales sont impliquées dans les différentes étapes d'une tâche prospective. Malgré la disparité des protocoles utilisés et des variables manipulées dans ce petit nombre d'études, de nombreux résultats intéressants en ressortent. Les données des études en neuropsychologie, en ERP, en TEP et en IRMf soulignent l'importance des lobes préfrontaux, pariétaux et des régions temporales médianes dans la mémoire prospective. Les études hémodynamiques ont aussi permis de faire ressortir le rôle particulier du lobe préfrontal au sein des processus de la mémoire prospective, entre autre le lobe préfrontal antérieur, dont l'aire BA10. Cette région semble importante dans le maintien des intentions prospectives et des études récentes suggèrent une dissociation des processus au sein des sous-régions latérales et médianes (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; den Ouden, et al., 2005; Okuda, et al., 2007; Okuda, et al., 1998; Simons, et al., 2006). Des résultats ont aussi suggéré que cette région, en collaboration avec le cortex dorsolatéral, participait à l'établissement d'un mode de récupération, énoncé à l'origine pour expliquer les activations retrouvées lors de la récupération épisodique rétrospective (Burgess, et al., 2001; Okuda, et al., 2003; West, McNerney, & Travers, 2007). Ainsi, ces études ont montré des corrélations entre les résultats en mémoire prospective et les résultats en mémoire rétrospective et elles ont fait ressortir que ces deux types de mémoire

possédaient des corrélats neuroanatomiques en commun. La récupération de l'action spécifique à être effectuée en mémoire prospective serait possiblement réalisée par le biais des mêmes systèmes de mémoire épisodique que ceux impliqués dans la récupération d'expériences passées et d'autres processus cognitifs, associés aux fonctions exécutives, seraient sollicités en plus dans le fonctionnement optimal de la mémoire prospective. Le même système qui serait responsable en mémoire épisodique de l'encodage de l'action spécifique à réaliser serait aussi impliqué dans l'apprentissage du lien associatif entre un événement en particulier et l'intention d'effectuer une action (Carlesimo, et al., 2004).

En dépit des nombreux liens théoriques et des données expérimentales soulignant les similarités entre la récupération en mémoire rétrospective et prospective, peu d'études en neuroimagerie se sont intéressées à les comparer au sein d'une même expérimentation. Un tel protocole permettrait de pallier à la disparité des études, en ce qui concerne les techniques d'imagerie, le type de protocole utilisé, le type de stimuli présentés qui rendent les comparaisons entre les études différentes moins précises. De plus, les études ayant fait cette comparaison dans le cadre d'un même protocole ont utilisé des techniques d'ERP qui ne permettent pas d'avoir accès aux régions cérébrales exactes impliquées (Leynes, Marsh, Hicks, Allen, & Mayhorn, 2003; Okuda, et al., 2003; West & Krompinger, 2005). Une étude en TEP ayant rapporté un chevauchement important des régions impliquées dans les deux types de récupération épisodique utilisait un protocole écologique, loin des tâches traditionnellement utilisées en mémoire prospective et faisait davantage référence à la mémoire autobiographique rétrospective et prospective (Okuda, et al., 2003). Il serait donc particulièrement pertinent de comparer lors d'une même expérience, les activations engendrées par la récupération épisodique rétrospective dont les processus sont assez bien compris (reconnaissance basée sur la familiarité et la récupération contextuelle) et la récupération épisodique prospective (reconnaissance de l'indice prospectif et récupération de l'action associée), dont les processus sont encore sujets à débat, afin d'identifier avec précision les corrélats neuronaux qu'elles ont en commun

et ceux qui les distinguent. En effet, la comparaison des régions cérébrales activées durant la récupération en mémoire prospective et durant deux types de récupération en mémoire rétrospective (reconnaissance des items déjà présentés et récupération contextuelle), permettrait de préciser les processus sous-jacents à la mémoire prospective.

Objectifs

L'objectif principal de cette étude est l'identification des bases neuronales communes et spécifiques à la récupération en mémoire rétrospective et prospective. Les objectifs spécifiques de la présente étude sont multiples :

[a] Déterminer les régions cérébrales impliquées dans deux tâches de MR (reconnaissance et récupération contextuelle).

[b] Circonscrire les régions cérébrales qui sont impliqués à la fois dans les tâches de MR (reconnaissance et récupération contextuelle) et de MP.

[c] Circonscrire les régions cérébrales spécifiquement révélées par l'ajout de la tâche de mémoire prospective aux tâches concurrentes. Examiner séparément les activations associées au maintien de l'intention (blocs sans indices prospectifs), à la récupération de l'intention (blocs avec indices prospectifs) et à la différence entre les deux types de blocs.

[d] Déterminer les régions cérébrales associées spécifiquement à la tâche de MP en comparaison aux tâches de MR.

Hypothèses

En se basant sur les quelques études réalisées en TEP et en IRMf, nous postulons que l'ajout d'une tâche prospective aux tâches concurrentes devrait solliciter des régions préfrontales dorsolatérales, ventrolatérales et antérieures, des régions pariétales et de façon moins certaine, des régions temporales.

Nous supposons un chevauchement des régions impliquées dans la récupération en mémoire prospective et en mémoire rétrospective au sein des régions préfrontales, pariétales et possiblement, des régions temporales.

La réalisation de la tâche en MP pourrait solliciter des régions uniques, particulièrement les régions antérieures préfrontales, associées au maintien de l'intention, au monitoring attentionnel et à la coordination de la tâche concurrente et de MP.

Common and distinct neural correlates of retrospective and prospective memory
retrieval

Véronique Paradis, M.Ps. ¹

Isabelle Rouleau, Ph.D. ¹⁻²

Pierre Gravel, Ph.D. ³

Jean-Maxime Leroux ³

Simona M. Brambati, Ph.D. ⁴

Dang K. Nguyen, MD., FRCPC. ²

1. Cognitive Science Institute and Department of Psychology, Université du Québec à Montréal, CP 8888, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8
2. Neurology Service, Hôpital Notre-Dame, Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, 1560, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec), Canada, H2L 4M1
3. Radiology Department, Hôpital Notre-Dame Centre Hospitalier de l'Université de Montréal, 1560, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec), Canada, H2L 4M1
4. Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal, 4565, Chemin Queen-Mary, Montréal (Québec), Canada, H3W 1W5

Correspondance to:

Isabelle Rouleau, Ph.D.

Département de psychologie

Université du Québec à Montréal

CP 8888, Succursale Centre-Ville

Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8

Tel.: (514) 987-3000 #8915

Fax: (514) 987-7953

E-mail: rouleau.isabelle@uqam.ca

Abstract

Using fMRI, we examined brain regions that were implicated in prospective memory (PM) retrieval and those active during two types of retrieval in retrospective memory (RM): recognition and contextual recollection. Subjects were administered a semantic/ perceptual decision task, a contextual recollection task and a recognition task, alone and with an added PM task. We found common activations during PM and RM retrieval blocks in the lateral portion of the left precuneus, the left inferior parietal lobule and left thalamus, that could reflect similar processes in memory. The modulation of activations in the precuneus could be related to the retrieval of rich contextual information or contextual association, while the inferior parietal lobule could be associated with bottom-up attentional processing during memory retrieval. Unique activations were observed during PM retrieval in the medial portion of the left precuneus, the left cingulate gyrus, the right thalamus and in the right superior frontal gyrus. These regions could support the additional attentional and executive processes responsible for the preparation of goal-directed action, attentional switching and response inhibition allowing an adequate coordination of the ongoing and the PM task.

Keywords: prospective memory; retrospective memory; neuroimaging; prefrontal lobe; parietal lobe, precuneus

1. Introduction

Prospective memory (PM) is the ability to form, maintain and execute intended actions after a delay, in the appropriate context in the future. The realization of intentions consists in remembering that something has to be done in the future, remembering the context in which it has to be done (prospective component) and remembering the exact action to be executed (retrospective component) (Einstein & McDaniel, 1990). Delayed intentions can be executed at a certain time (time-based) or in a particular context (event-based) in the future. In a PM situation, the intended action cannot be executed immediately and the delay (few minutes or hours) between the formation of the intention and its execution is occupied by an independent task (ongoing task). The cognitive engagement in the ongoing task prevents the continuous rehearsal of the intention in working memory. PM tasks share characteristics with retrospective memory (RM), since both types of memory require encoding the information, maintaining it over time and retrieve it (Carlesimo et al., 2011). However, in PM, contrary to RM, the retrieval of the intention is self-initiated in response to a cue (time or event), it is not explicitly triggered by the ongoing task and it requires the interruption of the ongoing task (Burgess, et al., 2003).

One major issue in the PM literature is therefore to identify the cognitive processes involved in the detection, without any reminder, of the appropriate circumstances (context or time) to execute the intended actions and those implicated during the retrieval of the specific content of the intention in memory. Conflicting theories have been proposed to explain those mechanisms. On the one hand, researchers have suggested that the accomplishment of a PM intention occurs effortlessly, involving the participation of an automatic associative memory system (interaction between the cue and the memory trace of the PM action) (McDaniel, et al., 1998) This point of view is supported by the subjective experience of many participants in PM studies that report that the PM intention pop into mind when the cue appeared. It is also in accordance with research showing that salient cues lead to better PM performance (Einstein & McDaniel, 1990; McDaniel & Einstein, 2000)

and that non-familiar cues elicit better performance because they have fewer associations in memory (fan-effect) (Cook, et al., 2006). On the other hand, authors have argued that controlled processes are needed to encode the cue-action association, to maintain the intention and monitor the environment in order to allow the detection of the appropriate circumstances in which the intended action must be performed (Shallice & Burgess, 1991; Smith, 2003). This is in line with studies showing a cost on ongoing task performance and on response time when a PM task is added (Einstein et al., 2005; R. L. Marsh, Cook, & Hicks, 2006; R. L. Marsh, Hancock, & Hicks, 2002b; R. L. Marsh, Hicks, Cook, Hansen, & Pallos, 2003; Smith, 2003). For example, Smith (2003) has proposed the *PAM* model (preparatory attentional and retrospective memory processes) that states that PM retrieval is never automatic and relies on preparatory attentional processes that are engaged to monitor the environment during the execution of the ongoing task, until the appropriate circumstance to execute the intended action is present. Retrospective memory processes would be later engaged once the target is detected, during the retrieval of the delayed intention. The recall of the appropriate action would therefore be comparable to the process involved in retrospective memory tasks. Similarly, Guynn (2003) also suggests a two-process monitoring model, the prospective retrieval mode and target checking (RM + TC). The concept of retrieval mode has originally been proposed in the retrospective literature and refers to a neurocognitive set active during a retrieval task (Lepage, et al., 2000; Tulving, 1983). More precisely, it is defined by a cognitive state in which one mentally holds in the background of focal attention a segment of one's personal past, process incoming information as retrieval cues for particular events in the past, inhibit task-irrelevant processing, and becomes consciously aware of the product of successful memory. As in retrospective memory, this model suggests that a retrieval mode would be needed in prospective memory to check for the appropriate circumstances (target cue or time interval) to retrieve the intended action and it would be constantly operating until the PM task has been completed.

While a large number of studies have been conducted on RM, only few studies have been made to date to explore the specific cerebral regions implicated in prospective memory. Data from neuropsychological, event-related potential (ERP), positron emission tomography (PET) and functional magnetic resonance imaging (fMRI) studies have emphasized the importance of the prefrontal, parietal and the medial temporal cortex in prospective memory. A more precise definition of the brain areas involved during PM memory would bring important insight into the cognitive processes that allows its optimal functioning. Despite the heterogeneity in the protocols used and the variables manipulated in these studies, interesting results have come out. Haemodynamic studies have highlighted the particular role of the prefrontal cortex in the prospective memory processes, especially the anterior prefrontal cortex (aPFC: BA10) (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; den Ouden, et al., 2005; Okuda, et al., 2007; Okuda, et al., 1998; Simons, et al., 2006). Authors have suggested that this region, in association with the dorsolateral cortex, were involved in establishing a retrieval mode (Burgess, et al., 2001; Okuda, et al., 2003; West, McNerney, & Travers, 2007). These studies have shown correlations between the results obtained in prospective and retrospective memory and have brought out common neuroanatomical correlates between these two types of memory. The retrieval of the specific action to be executed in PM would possibly be accomplished by the same systems that are implicated in the retrieval of past experience in RM. In conjunction with other cognitive processes related to executive functions, these systems would allow the optimal functioning of PM. Moreover, the same episodic memory system implicated during encoding of the specific action to be executed in the future would also be implicated in the associative learning between a particular event and an intention to perform an action (Carlesimo, et al., 2004; Poppenk, et al., 2010).

Despite the numerous theoretical links and experimental data suggesting similarities between the retrospective and prospective memory retrieval, only few neuroimaging studies have directly compared them within the same experiment. The

few available studies that have made that comparison have used ERP techniques. Though not as precise as are fMRI or PET in localizing the brain regions implicated in the memory processes, they have shown interesting results (Leynes, et al., 2003; Okuda, et al., 2003; West & Krompinger, 2005). For instance, West et al. (2005) have shown common processes during recognition and PM retrieval (P2, FN400, parietal positivity, frontal slow waves) and between cued recall and PM retrieval (slow frontal, central and parietal waves). Unique ERP modulations were also found for the prospective memory hits (N300, prospective positivity and a right frontal slow wave). Only one PET study directly compared the brain regions solicited during PM and RM retrieval. It revealed an important overlap in PFC (BA 8, 9, 10), medial temporal (hippocampus, parahippocampal gyrus) and parieto-occipital regions during PM and RM retrieval. However, this study used an ecological protocol very different from the task usually used to measure PM, i.e. a protocol that relied mainly on autobiographical RM and PM (Okuda, et al., 2003).

The objective of the present study was to compare in the same fMRI experiment, the activations generated by two types of retrospective episodic retrieval (recognition and contextual recollection) which processes are better understood with the prospective episodic retrieval (recognition of the prospective cue and intention retrieval) which processes are still under debate. We wanted to compare the neuronal correlates that the two functions have in common and those that distinguish them, using equivalent stimuli and protocol, with a technique that allows precise spatial brain region localization.

2. Materials and Methods

2.1 Participants

Sixteen right-handed native French speakers (8 men and 8 women, mean age: 24.75 years old, SD: 4.0) participated in the experiment. They were screened using a medical questionnaire to ensure they had no history of neurological or psychiatric disorder or of substance abuse (voir appendice A). A questionnaire was also

administered to make sure they met the criteria for the fMRI experiment (voir appendice B). A financial compensation of 30\$ was given to each subject. Written informed consent was obtained from all participants prior to the study (voir appendice C). The experiment was approved by the Quebec Bio-Imagery Network and the Centre Hospitalier de l'Université de Montréal ethics committee and was conducted in accordance with the Helsinki Declaration.

2.2 Experimental tasks and procedure

The experiment was divided in four parts: 1- an attention task (d2); 2- a series of three tasks without prospective memory instruction: a semantic/ perceptual decision task (SPD), a contextual recollection task (CR) and a recognition task (RN); 3- the prospective memory instruction and another session of the attention task (d2) and 4 - the same three tasks as in part 2 with new stimuli and with an added prospective memory task (SPD+, CR+, RN+). As suggested by Einstein & McDaniel (2010), the order of parts 2 (3 ongoing tasks without PM instruction: SPD, CR, RN) and 4 (with PM instruction: SPD+, CR+, RN+) were counterbalanced across subjects to control for practice and fatigue effects (voir appendice D). That is, half of the subjects started the experiment with the PM instructions and the attention task (d2) during which the MRI acquisition was made, followed by the series of tasks with the added PM task (SPD+, CR+, RN+). At the end of the third ongoing task, they were instructed to ignore the PM instructions for the rest of the experiment (attention task and SPD, CR and RN).

All the experimental tasks were constructed using *E-Prime* software (Psychology Software Tools, Inc., Pittsburgh, PA), controlled with a PC computer and projected in the scanner room on a screen seen by participants through a mirror system mounted to the head coil. Participants indicated their answers by pressing buttons on an fMRI compatible keypad. Participants arrived thirty minutes before the fMRI experiment. The radiology technician verified the medical questionnaire filled in a previous telephone interview with the participants. The course of the experiment

was explained to subjects and instructions for each task were given with few examples, except for the PM instruction that was only shown during the experiment in the scanner.

In the **attention task (d2)**, (inspired by (Brickenkamp, 1966), participants had to indicate by pressing a “yes” or “no” button if the item presented on the screen was a d2 among other distractors presented one at a time on the screen (p2, b2, d1, ...). The task was made of 80 stimuli, each item presented for 2500 ms with an inter-item delay of 500 ms, for a total of 4 minutes. There was no EPI acquisition during this task.

The **SPD task** consisted in asking the participant to either make a semantic «natural or man-made» or a perceptual «smaller than a chair or bigger than a chair» decision on color pictures of animals, insects, plants, objects, etc. Pictures were selected from Hemera Photo Objects. The sample pictures included an equal percentage of natural items smaller than a chair (e.g. *banana*), natural items bigger than a chair (e.g. *camel*), man-made items smaller than a chair (e.g. *pencil*) and man-made items bigger than a chair (e.g. *bicycle*). Eight blocks (4 blocks semantic/4 blocks perceptual), counterbalanced across subjects, were presented and two versions of the task were used (SPD and SPD+). The stimuli within each task version were randomized. The semantic / perceptual decision task was used to provide a particular context associated with each stimulus (i.e. the type of judgment made for each stimulus) that the participant was instructed to remember in order to perform the CR task.

In the **CR task**, for each item presented initially in the SPD task, the subject had to indicate which judgment he made: semantic (natural / man-made) or perceptual (smaller than a chair / bigger than a chair). The pictures were presented randomly within 8 blocks.

In the **RN task**, subjects were instructed to determine if the pictures presented on the screen had already been presented during the SPD and CR tasks or if it was a new item. Half of the stimuli presented were old items, seen in previous tasks, and

half of the items were new stimuli. The proportion of stimuli belonging to each category (natural, man-made, smaller/bigger than a chair) was maintained for the old and new items. Subject had to press from a choice of two keys if the item was old or new. The pictures were presented randomly within 8 blocks.

Each task (SPD, CR, RN) contained 48 items presented one by one in the middle of a white screen, each lasting 4000 ms, made of a 3500ms stimulus and an inter-trial interval of 500 ms (white screen). The items were distributed in 8 blocks of 6 items. Since there were two types of blocks (semantic or perceptual) in the SPD task, instructions indicating the type of decision to be made were presented on the screen during 6 seconds before each block of trials. The SPD consisted of 8 blocks of 6 items plus 6 seconds of instructions for a total of 30 seconds per block. For the CR and RN tasks, instructions lasting 6 seconds were only presented once in the beginning of the task and blocks lasted 24 seconds. The response choice was always presented at the bottom of the screen for each stimulus in each task. Between each block of experimental task, a block of unrelated control task lasting 24 seconds was administered. The control task was common to all scanning sessions in order to contrast the hemodynamic activity relating to the different experimental conditions across sessions. In the control task, scramble abstract pictures were presented on a white screen and subjects were asked to press a key randomly. These scrambled images were generated from the randomization of the pixels in each picture from the experimental tasks. The control stimulus lasted 3500 ms, with an inter-trial interval of 500 ms, for a total of 8 blocks of 6 stimuli. Two sham response choices appeared at the bottom of the screen (choice 1 or choice 2). The SPD task lasted 7 minutes and 12 seconds and the CR and RN tasks lasted 6 minutes and 30 seconds, for a total of 20 minutes and 12 seconds for the series of three tasks.

Prospective memory task: instructions for the PM task were presented on the screen, prior to the beginning of the blocks of ongoing task. Subjects were told that during the execution of the ongoing task (SPD+, CR+ and RN+), pictures of musical instruments would be shown (PM cue). When this happened, they were expected to

ignore the ongoing task and press a third key (the thumb: PM response). Subjects were asked to summarize orally the instructions and a short practice session was administered to insure the comprehension of the PM instruction. Another session of the attention task (d2) was after administered for 4 minutes, in order to insert a delay between the prospective instruction and the prospective task, and to prevent subjects from rehearsing the prospective instructions. There were no EPI acquisition during this part, but the MRI acquisition was made, lasting 8 minutes.

The sequence of tasks (SPD, CR, RN) was the same whether the PM task was added or not. The same task parameters were used in each task. During the three ongoing tasks, participants had to answer by pressing the two buttons, but they had to press the thumb button, without any reminder, when the picture was a musical instrument (prospective cue). Each task contained 8 prospective cues, equivalent to 17% of the total stimuli presented. Half of the blocks contained no prospective cues to allow the comparison between blocks associated with PM intention maintenance and those associated with the execution of PM intention. The order of the blocks containing the prospective cues and the position of the cues within the blocks were counterbalanced across tasks and across the two versions of the tasks to minimize the possibility of anticipating the cues. The first block of each task never contained PM cues to ensure that subjects were fully engaged in the ongoing task. Moreover, the PM cue was never the first stimulus of a block of task. There were no pictures of musical instruments during the series of tasks without PM instruction.

To recapitulate the procedure: for half the subjects, tasks were administered in the following order: 1- d2 (4 minutes), 2- ongoing task alone: SPD, CR, RN (20 minutes), 3- PM instruction and d2 (MRI acquisition: 8 minutes) and 4) ongoing task + PM instruction: SPD+, CR+, RN+ (20 minutes). For the other half of subjects, parts 3 and 4 were administered in the beginning of the experiment. The experiment in the scanner lasted around 55 minutes. At the end of the experiment, a short verbal questionnaire was administered to get feedback from all subjects about the

experiment and the prospective memory task (e.g. level of difficulty of the PM task, strategy used, pop-up experience, etc.).

2.3 Image acquisition and data analysis

All images were acquired using a 3T Philips Achieva MRI system, located in the radiology department of Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (Notre-Dame location) using an 8-channel head coil. For each subject, two sessions of 144 and four sessions of 130 T2-weighted echo-planar functional images (EPI) were obtained, a total of 1184 acquisitions (TR : 3000, TE : 35 ms, 47 sequential axial slices, flip angle: 90°, 3 mm thickness, FOV: 240mm, 80 X 80 matrix, voxel size: 3 mm isotropic). An additional T1-weighted high-resolution MRI image was acquired for each subject during the same experimental session using a 3D MPRAGE turbo-field echo sequence (176 sagittal slices; TR: 8.2, TE: 3.8, flip angle: 8°, FOV: 256mm, 256 X 256 mm matrix; voxel size: 1 mm isotropic).

Functional images were pre-processed and analyzed using SPM8 software (Statistic Parametric Mapping, Wellcome Trust Center for Neuroimaging, London, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) implemented in Matlab 7.10 (MathWorks Inc, MA, US). Functional volumes were realigned to the first image to correct for motion (using 2th-degree B spline interpolation) from which a mean EPI image was computed. The MPR image was co-registered to the mean EPI image. The images were normalized to an EPI template in MNI stereotactic space (provided by SPM) using a DCT-based nonlinear deformation field. They were then resampled into 2 mm cubic voxels using trilinear interpolation and smoothed using a Gaussian filter (9 mm FWHM kernel, i.e. three times the EPI voxel dimensions). High-pass filtering (with cutoff frequencies of 1/324 Hz for the 144-image sessions and 1/288 Hz for the 130-image sessions) was used to remove low-frequency noise, and an autoregressive model corrected for temporal autocorrelation. The cutoff frequencies were determined using the block design onset times of each session. Finally, an autoregressive model corrected for temporal autocorrelation.

Data was first analyzed for each subject individually. Blocks of all conditions were modeled by convolving a boxcar signal with specific onset times and durations with a canonical haemodynamic response function, including the temporal and spatial derivatives. We included 12 movement regressors to account for signal-changes related to subject's head motion. Three translations and three rotations signals generated by SPM after the realignment operation during image preprocessing were used as the first six regressors. Those signals described the position and orientation of the head in each MRI volume with respect to its position and orientation in the first volume of a run. The last six motion regressors were the squared values of the first six. While a lot of people use 6 regressors, opting for 12 reduces the uncertainties associated to the real regressors of interest. As a result, their corresponding T and F maps are more significant.

A random effects statistical analysis was undertaken thereafter using a block design to estimate the main effects of interest for the group results. Statistical parametric maps were generated for the corresponding contrasts using one-sample T tests on a voxel-by-voxel basis.

Blocks of experimental tasks were contrasted to blocks of control tasks. We compared the series of tasks with an added PM task (SPD+, CR+, RN+) with the ongoing alone tasks (SPD, CR, RN) to extract the neuronal correlates of PM. To determine the activations more specifically associated with PM maintenance (prospective retrieval mode), blocks of tasks without cues were contrasted separately. Blocks of tasks with PM cues were also contrasted separately to the ongoing task, to examine the regions associated to PM retrieval. In addition, blocks containing PM cues were directly contrasted to blocks without PM cues to sort out the activations related to the execution of the PM intention. In the following results section, we decided to focus mainly on the activations observed in SPD+ (SPD task + PM task) for sake of brevity and since it is the only ongoing task without RM episodic retrieval.

We also implemented a method to logically combine several contrasts, generated after the thresholding of individual contrasts to filter only the activations common to both the PM and RM tasks and those uniquely associated with the execution of the PM task. To put it another way, we used simultaneous application of multiple contrasts, where each thresholded contrast represented a mask, and voxels were identified at the intersection or union of those masks. To identify the regions in common during both PM and RM, we first identified the voxels at the intersection of both thresholded contrasts ($p < .05$): RN > control task and CR > control task. This conjunction analysis constitutes a binary image, a mask. We next generated the results of the contrast (retrieval blocks > SPD) with SPM ($p < .001$), using this mask as an explicit mask, to isolate only those voxels located within the mask (combined CR and RN). The combination of multiple contrasts to generate a mask was set at $p < .05$ since it balances trade-off between false-positive and power as stated by Reynolds, West and Braver (2009). This threshold was more permissive for the common activations but more restrictive in the unique PM activations. To determine the regions that were unique to PM, we applied the same procedure, using only the contrary binary image (inversion of the conjunction of CR and RN), to isolate the activations that were not included in the mask.

Results were considered significant at $p < .001$ uncorrected for multiple comparisons (Hashimoto, et al., 2011; Okuda, Gilbert, Burgess, Frith, & Simons, 2011). For between condition contrasts (task with or without a PM task), lenient threshold were sometimes used to extract the small differences (mentioned if used). The anatomical locations and approximate Brodmann areas of significant clusters maxima of at least ten contiguous voxels were localized using electronic Talairach atlas (*Talairach Client*; <http://biad02.uthscsa.edu/projects/registration/download.htm>) after transforming peak MNI coordinates into Talairach coordinates using the icbm2tal transform (Lancaster et al., 2007) to allow for differences between the MNI and Talairach templates. We used an in-house program to extract mean beta values for all subjects using a 2mm radius sphere around activation peaks of interest. These

values were used to compute correlations between the activations and the behavioral data (performance and response time).

3. Results

3.1 Behavioral results

Extreme responses times (i.e. two standard deviations from the mean) within each task for each subject were removed. The response times distributions were normal for all tasks. Accuracy scores were converted into percentages to allow comparison across tasks. A ceiling effect was observed for the accuracy scores in the ongoing SPD and RN tasks and the PM tasks. These variables were dichotomized (100% or less than 100%) for subsequent analysis.

The accuracy scores in percentage and response times during each ongoing task with and without prospective memory task are presented in table 1. McNemar tests (exact tests) were conducted on the dichotomized accuracy scores on the ongoing tasks and revealed that they were not significantly different in the SPD ($p=1$, $\eta^2=0$) and RN tasks ($p=.754$, $\eta^2=0.01$) with or without a PM component. Paired t-test also confirmed that the accuracy scores in the CR tasks were not different when a PM task was added, $t(15)=-1.066$, $p=.303$, $r=0.249$.

An analysis of variance (ANOVA) with repeated measures on conditions (PM or no PM) and tasks (SPD, CR, RN) was conducted to examine differences in response times during the ongoing tasks with and without the PM task. There was a significant main effect of tasks, $F(2, 30)=119.13$, $p<.001$, $\eta^2=0.88$. Analysis also revealed a main effect of conditions, $F(1,15)=29.14$, $p<.001$, $\eta^2=0.66$, suggesting that response times were significantly slower in all the ongoing tasks with an added PM task in comparison to ongoing tasks alone. There was however no significant tasks X conditions interaction, $F(2, 30)=0.049$, $p=.952$, $\eta^2=0.003$. The slowing of the RT when a PM task was added was equivalent for the three ongoing tasks, even if the nature and the level of difficulty differ substantially. To determine if the response times during the ongoing tasks with a PM task were different between the

maintenance blocks and the retrieval blocks, an ANOVA was performed with repeated measures on blocks (maintenance only vs. retrieval) and tasks (SPD, CR, RN). There was no main effect of types of blocks, $F(1,15) = 0.37$, $p = .55$, $\eta^2 = 0.02$, and no interaction between tasks and blocks, $F(2,30) = 1.30$, $p = .29$, $\eta^2 = 0.08$. This suggests that there was a general slowing of the response times on the ongoing tasks when a PM task was added, no matter if a PM cue was presented or not during the block.

[Insert Table 1 here]

Response times and accuracy scores in percentage for the PM cues are shown in table 1. A Cochran Q test suggested that the number of PM cues detected differed as a function of the ongoing tasks, $\chi^2(2) = 6$, $p = .05$. However, McNemar tests (exact tests) performed between each pair of tasks were not significant between SPD and CR ($p = .063$, $\eta^2 = 0.20$), SPD and RN ($p = .22$, $\eta^2 = 0.09$) nor between CR and RN ($p = 1$, $\eta^2 = 0$). An analysis of variance (ANOVA) with repeated measures on tasks (SPD, CR, RN) revealed a significant difference between the response times on PM trials depending on the ongoing tasks, $F(2,30) = 14.09$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.48$. Post-hoc analysis showed that response times were slower in the SPD task compared to the CR ($p = .004$) and RN task ($p < .001$). Response times tended to be slower in the CR task compared to the RN task, but this difference was not significant ($p = 0.058$). Since the tasks were administered in that order, SPD, CR, RN, the faster RT during the second and last tasks could be due to a practice effect on the PM task, a better cue detection.

3.2 Functional imaging results

PM activations

As mentioned previously, we will concentrate in this section on the activations observed in SPD+ (SPD task + PM task) since it is the only ongoing task without RM episodic retrieval. Activations are presented in Table 2. In the SPD task without PM,

we found activations in the right cerebellum/ fusiform gyrus (BA19) and in the right superior frontal gyrus (BA6). We also observed activations in the left precuneus (BA7), the left middle frontal gyrus (BA9), the left insula (BA13) and the left inferior parietal lobule (BA40).

[Insert Table 2 here]

Contrast between SPD+ maintenance blocks (no PM cue) and SPD revealed no significant activations at $p < .001$. We observed activations at ($p < .005$) in the right thalamus (pulvinar and medio-dorsal) and the right medial frontal / anterior cingulate gyri (BA32). During the SPD+ retrieval blocks compared to ongoing SPD task alone, activations were observed in a medial and a lateral portion of the left precuneus (BA7/31), the left inferior parietal lobule (BA40), the left postcentral gyrus (BA2/3), the left dorsal posterior cingulate gyrus (BA31), bilateral thalami, bilateral superior frontal gyri (BA6) and the bilateral caudate nuclei.

Contrast between the retrieval blocks (with cues) and the maintenance (no cue) blocks during the SPD task revealed activations in bilateral cerebellum, bilateral thalami, the left posterior cingulate gyrus (BA29), the left inferior parietal lobule (BA40), the left precentral gyrus (BA4) and the right middle occipital gyrus (BA18).

RM activations

We found peak activations during the CR task compared to control condition in the left cerebellum/ occipital lobe (BA18/19), in the right claustrum/ insula (BA13) / medial frontal gyrus (BA9) and in the left medial /superior frontal gyrus (BA6 / BA8).

In the RN task compared to control condition, peak activations were observed in the right occipital; lingual; fusiform gyri (BA18/ 19), the right cingulate gyrus (BA32), right globus pallidus, right middle frontal gyrus (BA6), bilateral insula (BA13), left medial frontal gyrus (BA6), left precentral (BA4/6) and left middle frontal gyrus (BA9).

Common activations: PM and RM

To explore the neurological correlates shared by PM retrieval and RM retrieval, we compared the activations in the retrieval blocks of the SPD+ in contrast to the SPD task alone (containing no episodic RM retrieval), with the activations common to the ongoing CR and RN tasks alone (compared to control condition), using a masking procedure (see method). Results are presented in table 3 and figure 1. We found common activations in the left thalamus (pulvinar), the left inferior parietal lobule (BA40) and the lateral portion of the left precuneus (BA7/31). These regions were not listed individually in the CR and RN > control contrasts, because of the threshold used for the masking procedure (see method) and they were mostly included in a large cluster, with peak activations in the cerebellum and occipital lobe extending anteriorly to the parietal lobe (CR task: 20902 voxels and RN: 19075 voxels).

[Insert Table 3 here]

[Insert Figure 1 here]

The contrast between retrieval blocks (SPD+ with cues) and maintenance blocks (SPD+ without cues) shared common activations with the RM retrieval tasks (CR and RN) in bilateral cerebellum, right middle occipital gyrus (BA18), the left inferior parietal lobule (BA40), the left thalamus (ventro-lateral) and right thalamus (medio-dorsal).

Unique PM activations vs RM activations

Activations unique to PM retrieval were examined, by extracting regions in the retrieval (SPD+ with cues) minus SPD contrast, that were not present in the RM retrieval task (common to CR and RN) using a masking procedure (see method). Results are shown in table 3 and figure 2. We found activations in the medial portion of the left precuneus (BA7/31), the left caudate head, the left dorsal posterior cingulate gyrus (BA31), the right thalamus (medio-dorsal), the right caudate body and in the right superior frontal gyrus (BA6).

[Insert Figure 2]

We also examined the regions activated in the retrieval blocks (SPD+ with cue) minus maintenance blocks (SPD+ without cue) contrast, that were unique to PM using the same masking technique. Unique activations were found in the left precentral frontal lobe (BA4), in the left cerebellum, the right thalamus (mediodorsal) and the left posterior cingulate gyrus (BA29).

ROI analysis: frontopolar regions

Unexpectedly, we did not find any frontopolar activation at $p < .001$ non-corrected during the PM task, but significant clusters were found at a lenient threshold of $p < .05$ uncorrected for multiple comparison. Based on clusters reported in previous studies, we performed a region-of-interest analysis (ROI), drawing spherical ROI of 18mm (twice the size of the smoothing size) (Okuda, 2007, Burgess et al., 2001, 2003). Activations were found in the maintenance blocks-SPD contrast in the left lateral BA10 (peak coordinates: -22, 56, 4, cluster size: 31, $Z = 2.02$, $p = .021$) and in the right BA10 (peak coordinates: 28, 50, -2, cluster size: 80, $Z = 2.27$, $p = .012$). Activations were also found in the retrieval blocks-SPD in bilateral lateral BA10 (peak coordinates: -24, 56, 6, cluster size: 44, $Z = 2.38$, $p = .009$; peak coordinates: 30, 48, 0, cluster size: 80, $Z = 2.29$, $p = .011$). In the retrieval-maintenance blocks, a cluster was found in the right lateral BA10 (peak coordinates: 38, 52, 16, cluster size: 21, $Z = 2.49$, $p = .006$). Using the beta values, we found that these activations were however not significantly correlated to the RT or accuracy on the PM trials during the SPD task. No BA10 activations were found in the ongoing tasks alone (SPD, CR or RN task), suggesting a specific implication of this region in the task with a PM component.

As reported in other studies, we found a large cluster in the medial frontal lobe, BA 9 and BA10 that was systematically less activated in the ongoing tasks (with and without a PM component) compared to the control task. (Burgess, et al., 2003; Simons, et al., 2006). This was the only or main cluster when we adjusted the

threshold at $p < .05$ corrected for multiple comparison (family-wise error). The decrease of signal in that area was however not specific to the PM task (maintenance and retrieval blocks) and was also found in the contrast between each ongoing task compared to the control task. This could be in line with the gateway hypothesis (Burgess, et al., 2005), suggesting that this region would be more engaged in "stimulus-oriented attending", since attentional resources were principally directed to external stimuli during the control task, requiring very low referral to internal cognitive processes and shallow processing of those stimuli

4. Discussion

The main goal of this study was to compare brain regions that were implicated during retrieval in prospective memory to those active during two types of retrieval in retrospective memory: recognition and contextual recollection. Results showed that PM and RM shared common neural bases, but PM also generated specific activations. Behavioural results replicated previous findings of a slowing of response times on the ongoing tasks when a PM task was added, known as the prospective interference effect (Einstein, et al., 2005; R. L. Marsh, Cook, et al., 2006; R. L. Marsh, et al., 2002b; R. L. Marsh, et al., 2003; Smith, 2003).

4.1 PM and RM retrieval: common activations

Common activations between the PM retrieval blocks (contrasted against SPD task) and RM retrieval blocks (CR and RN) were found in the lateral portion of the left precuneus (BA7/31) and the left inferior parietal lobule (BA40). Since we subtracted the SPD task from the blocks of PM retrieval, brain areas involved in semantic retrieval are presumed to be minimally activated. The precuneus has been explored only recently in the neuroscience literature, but neuroimaging studies have frequently reported implication of this region in a variety of tasks, including PM tasks (Burgess, Gonen-Yaacovi, & Volle, 2011b; Burgess, et al., 2001; den Ouden, et al., 2005; Hashimoto, et al., 2011; Poppenk, et al., 2010; Reynolds, et al., 2009;

Simons, et al., 2006). The precuneus has connections, among others, to the thalamus, the inferior parietal lobule, the anterior/posterior cingulate and prefrontal regions (mid-dorsolateral, supplementary motor area) (Cavanna & Trimble, 2006). The precuneus, with the related cingulate and prefrontal cortices have been found to be implicated in several episodic memory retrieval tasks (McDermott, Jones, Petersen, Lageman, & Roediger, 2000; Naghavi & Nyberg, 2005; Shannon & Buckner, 2004; Velanova et al., 2003a; Wheeler & Buckner, 2003). Cavanna & Trimble (2006) have suggested an antero-posterior functional segregation (anterior: y closer to -60 mm and posterior: y closer to -70 mm) where anterior portion could be linked to a retrieval mode (polymodal imagery) and the posterior portion would be mostly linked to successful retrieval of remembered episodes. In this study, common activations between PM and RM retrieval were located in the posterior portion of the precuneus (-18, -72, 36/ -16, -72, 54). On the other hand, activations in more anterior portion of the precuneus were found in the maintenance-SPD task (-18, -53, 46; $p < .01$), the maintenance-CR task (22, -38, 46; $p < .05$) and the maintenance-RN task (-24, -52, 38; $p < .001$), that could reflect a retrieval mode.

Lateral parietal cortex is also frequently activated during episodic memory retrieval, although lesions to this area do not usually lead to pronounced memory impairment (Okada, Vilberg, & Rugg, 2011; Okuda, et al., 2011; Vilberg & Rugg, 2008; Wagner, et al., 2005; Wheeler & Buckner, 2004). Lateral parietal, retrosplenial, and posterior cingulate cortices are connected directly or indirectly to the medial temporal lobe (MTL) (Suzuki & Amaral, 1994). Recently, Cabeza (2008) suggested the dual attentional processes hypothesis (*DAP*) to explain the role of lateral parietal lobe in episodic memory retrieval. The *DAP* hypothesis predicts that dorsal parietal cortex (in or above intraparietal sulcus: BA7) would be implicated in top-down attentional processes. In contrast, ventral parietal cortex (VPC) activity (supramarginal and angular gyrus: BA 39-40) would mediate bottom-up attentional processes, captured by relevant memory cues and/or information recovered from memory. He argued that during an episodic retrieval task, subject search in memory

relevant information to make the retrieval decision, disengaging their attention from the retrieval cue, to a specific event in the past (Wheeler, Stuss, & Tulving, 1997). Therefore, when significant memory targets are found, they capture attentional resources bottom-up, leading to a shift in attention towards these targets and this would often reflect successful recovery of memory targets or successful retrieval performance. Also, left VPC activations as opposed to right activations would be more frequently found in fMRI studies of episodic retrieval (Vilberg & Rugg, 2008). In the present experiment, activations in the left lateral parietal cortex (BA40) were found in the retrieval > ongoing task and during the retrieval > maintenance contrast, suggesting a particular involvement during the retrieval of a PM cues compared to the maintenance blocks where no cues actually appeared.

Eustache et al. (2004) have reported that the severity of autobiographical memory impairment in Alzheimer's disease (AD) correlates to a reduced cerebral glucose utilization in inferior parietal lobule, bilateral precuneus and posterior cingulate. A multi-study convergence analysis showed important old/new effects (hits compared to correct rejections during recognition) in precuneus extending into posterior cingulate and retrosplenial cortices and in left lateral parietal cortex in all seven studies examined (auditory, visual, verbal and non-verbal stimuli). These activations were also particularly linked to recollection compared to familiarity decision (Wagner, et al., 2005). Furthermore, a study by Shannon & Buckner (2004) showed that the retrieval success activations found in lateral and medial posterior parietal cortex regions were not affected by manipulations associated to classic conception about the role of posterior parietal cortex (motor intentions and visuospatial attention), but could be modulated by memory manipulations (ex.: deepness of encoding).

In our experiment, the signal change found in the two precuneus clusters, common to RM and PM tasks, was higher in the CR task than in the PM or RN tasks. The CR task required higher recollection effort (as suggested by the lower accuracy score) and used the recollection of source detail related to the stimuli presented. This

task however also contained 100% old items, compared to 50% in the RN task and 0% in the PM task (retrieval of intentions with new images). Also, mean accuracy scores differ between the three tasks, actually being the lowest in the CR task, making interpretations about retrieval success less straightforward. This could be however in line with studies showing that precuneus would be linked to source retrieval, retrieval of rich contextual information or contextual association (Lundstrom, Ingvar, & Petersson, 2005; Lundstrom et al., 2003). The signal change in BA40 clusters were more diverse between tasks. Activity in area of BA40 (-52, -30, 52) was more pronounced in PM task, other (-38, -42, 58) in CR task or (-32, -40, 52) in RN task.

4.2 Unique PM activations

Activations in the aPFC (BA10) have been observed frequently during the realization of a PM task in fMRI experiment (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; Okuda, et al., 2007; Reynolds, et al., 2009; Simons, et al., 2006). However, as in the study of Kalpouzos et al. (2010) that used an ecological paradigm of PM, we found minimal fronto-polar activations during the PM task (only at a lenient threshold). There have been multiple hypothesis concerning the role of this region in PM. Reynolds, West & Braver (2009) have found that activation in this region was sustained over the course of a PM task and linked to PM success. They proposed that aPFC could be implicated during the selection between multiple internal representations relevant to task performance. Moreover, it could be linked to a monitoring process allowing the selection of less-frequent high-order internal representation, important during multitasking and task switching. They proposed, as the multiprocess theory (McDaniel & Einstein, 2000) that if monitoring demand are reduced, the aPFC may not be implicated. That is if the processing required by the ongoing task and the PM cues are similar (focal processing), if there is a single cue, if there is a strong link between the cue and the action, if the importance of the PM task is reduced, etc.

In the present study, we used a single category for the PM cues (i.e. musical instrument), a total of 8 different items, which were presented first in the SPD task and repeated in the two other ongoing tasks. We found that frontopolar activations, although at a lenient threshold, were mostly present during the first ongoing task (SPD task) with a PM component during which the stimuli were new and more susceptible to require higher monitoring. Also, the PM cue was a semantic category and the processing of the stimuli was deep enough during the ongoing tasks to allow the detection. The monitoring demands were therefore reduced compared to other PM task that involves non-focal characteristic or more complex processing leading to cue detection, like the color of the item or the background, specific position of stimuli, number of syllables in a word, presence of vowels, numbers of sides in a figure, etc. (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; Reynolds, et al., 2009; Simons, et al., 2006). Also, the ongoing task difficulty was low or average, as suggested by the ceiling effect noted in the accuracy scores in the SPD and the RN task, making the management of the ongoing and the PM task less demanding. Moreover, the RT on PM trials tend to get faster as the experiment progressed and there was also a tendency, although not statistically significant, of a better accuracy on the last two tasks compared to the first task with the PM component. This could mean that subjects got better at detecting and acting on the PM cues and this could be suggestive of more automatic processes as the experiment went on, since the PM cues have been already presented. This could explain a reduction of aPFC activations during the last ongoing tasks (Burgess, et al., 2003).

We found unique activations in PM retrieval compared to the two RM tasks, in the left precuneus (BA7/31), the left caudate head, the left dorsal posterior cingulate gyrus (BA31), the right thalamus (medio-dorsal), the right caudate body and in the right superior frontal gyrus (BA6). Unique activations were found in the right medio-thalamus in both contrast: PM retrieval-SPD and PM retrieval-maintenance. The right medio-dorsal (MD) nucleus has been previously linked to PM retrieval (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003). A recent neuropsychological

study has reported severe deficits in an experimental event-based PM paradigm in two patients who suffered cognitive impairment due to an isolated bilateral infarction of the anterior-mesial regions of the thalamus (Carlesimo, et al., 2010). They suggested that thalamic damage can affect PM abilities by two different mechanisms, based on the relative disruption of declarative memory or executive processes functioning. During a PM task, the anterior nuclei, connected to the hippocampal system, would be implicated in the formation and consolidation of the memory trace of the target event and the associated actions to be performed. On the other hand, the medio-dorsal, midline, and intralaminar nuclei, that have connections with prefrontal cortex, would be more solicited in the prospective component of a PM task, at the time of memory retrieval and in executive functioning. They argued that the MD nucleus would be implicated in modulating the prefrontal executive processes in memory in function of the plans and intentions (Carlesimo, et al., 2011; Van der Werf et al., 2003). In our study, the three tasks involved memory retrieval, but the activations uniquely found in PM retrieval were concentrated in the MD thalamus. However, the exact location of activations within the thalamus remains difficult to establish in neuroimaging studies, since the pre-processing and the normalization procedures introduces spatial imprecision. More work will be needed to determine the exact implications of sub-regions of the thalamus in PM processing.

A large cluster was also found in the left precuneus (a cluster located more medially: -2, -74, 44 than the one found commonly with RM tasks: -18, -72, 36 and -16, -72, 54) and the right superior frontal gyrus uniquely in the PM blocks compared to RM tasks. An ERP study (West & Krompinger, 2005), comparing PM and RM memory, also revealed a prospective positivity over parietal region and a right frontal slow wave that was unique to PM memory. Synchronous activity in superior frontal gyrus and precuneus was also found in relation to execution of attention set shift, apart from shift in motor response, increased vigilance or attention processing of rare events (Nagahama et al., 1999). Activations in the precuneus and supplementary motor area (SMA) have also been linked to switching attention between object

features (Fink et al., 1997). Hashimoto, Umeda & Kojima (2011) found SMA activation linked to the realization of a PM task and suggest its implication in the cognitive control of future actions. The SMA has been related to self-initiated actions, internally-generated or goal-driven actions and evidence suggests that it may be implicated in condition-action association and inhibitory processes allowing the suppression of the response to the ongoing task in favour of the response to PM task (Sumner et al., 2007).

Activation in left posterior cingulate gyrus (BA 31 and 29) was uniquely found in PM tasks compared to both RM task activations. A neuropsychological study in 60 patients with circumscribed lesions revealed that the left posterior cingulate was involved in the retrospective and prospective component of the realization of the task (rule learning and plan following) component of a multitask paradigm (Burgess, et al., 2000). An fMRI study has also found that the anterior cingulate cortex (ACC) was more activated in relation to PM cue identification while posterior cingulate and precuneus were more activated in the retrieval intention condition (Simons, et al., 2006). Activations in the medial frontal gyrus (BA6)/ anterior cingulate gyrus (BA32) were observed in the maintenance blocks of the current study and could be implicated in monitoring the environment for the appearance of a target PM cues. Indeed, the ACC have been linked to the deployment of attentional control, environmental monitoring, sustained alertness and in top-down processing or biasing of the system in favor of objects or locations with behavioral relevance (Casey et al., 2000; Hashimoto, et al., 2011; Medford & Critchley, 2010; Taylor, Seminowicz, & Davis, 2009).

5. Limitations

Despite the critical importance of PM memory in everyday life, studies about the underlying processes and the neural correlates of this function are still limited. The kind of protocol used in most fMRI experiment, including this one, remains simple and do not fully represent the complexity of PM tasks in daily life. Also, most

of neuroimaging studies have a minimal retrospective component (ex. pressing a specific key) relating to the PM cues, because of methodological limitation of the fMRI testing. The use of a block-design protocol has allowed us to access the sustained processing during RM and PM tasks. An event-related paradigm would however have been interesting to dissociate neural correlates linked to retrieval effort and success, but the small number of items used in the PM tasks and the ceiling effects found in the SPD and RN tasks would have limited the results.

6. Conclusions

In summary, the present experiment was designed to compare the neural correlates linked to RM retrieval and PM retrieval using fMRI. We found overlapping activations between the two processes in medial and lateral parietal regions and thalamus that could reflect similar memory retrieval processes. On the other hand, unique activations were found in superior frontal gyrus, medio-dorsal thalamus, precuneus, caudate nucleus and posterior cingulate gyrus. These regions could support the additional attentional and executive processes responsible for the preparation of goal-directed action, attentional switching and inhibition that lead to the coordination of the ongoing task and the realization of the PM task (Guynn, 2003; Smith, 2003).

Acknowledgement

This research was supported by CRSNG and FQRNT scholarships (V. Paradis) and by FRSQ research grant. We would like to Jean Bégin for his suggestion for the statistical analysis of the behavioural data.

7. References

- Brickenkamp, R. (1966). *Le test d'attention concentrée* Paris: Editest.
- Burgess, P. W., Gonen-Yaacovi, G., & Volle, E. (2011). Functional neuroimaging studies of prospective memory: what have we learnt so far? *Neuropsychologia*, 49(8), 2246-2257.
- Burgess, P. W., Quayle, A., & Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 39(6), 545-555.
- Burgess, P. W., Scott, S. K., & Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: a lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, 41(8), 906-918.
- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I., & Gilbert, S. J. (2005). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. In J. Duncan, L. H. Phillips & P. McLeod (Eds.), *Measuring the mind: Speed, control, and age* (pp. 217-248). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Burgess, P. W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, 38(6), 848-863.
- Cabeza, R. (2008). Role of parietal regions in episodic memory retrieval: the dual attentional processes hypothesis. *Neuropsychologia*, 46(7), 1813-1827.
- Carlesimo, G. A., Casadio, P., & Caltagirone, C. (2004). Prospective and retrospective components in the memory for actions to be performed in patients with severe closed-head injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10(5), 679-688.
- Carlesimo, G. A., Costa, A., Serra, L., Bozzali, M., Fadda, L., & Caltagirone, C. (2011). Prospective memory in thalamic amnesia. *Neuropsychologia*, 49(8), 2199-2208.
- Casey, B. J., Thomas, K. M., Welsh, T. F., Badgaiyan, R. D., Eccard, C. H., Jennings, J. R., et al. (2000). Dissociation of response conflict, attentional selection, and expectancy with functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(15), 8728-8733.
- Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129(Pt 3), 564-583.
- Cook, G. I., Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Martin, B. A. (2006). Fan effects in event-based prospective memory. *Memory*, 14(7), 890-900.
- den Ouden, H. E., Frith, U., Frith, C., & Blakemore, S. J. (2005). Thinking about intentions. *Neuroimage*, 28(4), 787-796.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16(4), 717-726.

- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2010). Prospective memory and what costs do not reveal about retrieval processes: A commentary on Smith, Hunt, McVay, and McConnell (2007). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 36(4), 1082-1088; discussion 1089-1095.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Thomas, R., Mayfield, S., Shank, H., Morrisette, N., et al. (2005). Multiple processes in prospective memory retrieval: factors determining monitoring versus spontaneous retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134(3), 327-342.
- Fink, G. R., Halligan, P. W., Marshall, J. C., Frith, C. D., Frackowiak, R. S., & Dolan, R. J. (1997). Neural mechanisms involved in the processing of global and local aspects of hierarchically organized visual stimuli. *Brain*, 120 (Pt 10), 1779-1791.
- Guynn, M. J. (2003). A two-process model of strategic monitoring in event-based prospective memory: Activation/retrieval mode and checking. *International journal of psychology*, 38(4), 245-256.
- Hashimoto, T., Umeda, S., & Kojima, S. (2011). Neural substrates of implicit cueing effect on prospective memory. *Neuroimage*, 54(1), 645-652.
- Kalpourzos, G., Eriksson, J., Sjolie, D., Molin, J., & Nyberg, L. (2010). Neurocognitive systems related to real-world prospective memory. *PLoS One*, 5(10), e13304.
- Lancaster, J. L., Tordesillas-Gutierrez, D., Martinez, M., Salinas, F., Evans, A., Zilles, K., et al. (2007). Bias between MNI and Talairach coordinates analyzed using the ICBM-152 brain template. *Human Brain Mapping*, 28(11), 1194-1205.
- Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L., & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(1), 506-511.
- Leynes, P. A., Marsh, R. L., Hicks, J. L., Allen, J. D., & Mayhorn, C. B. (2003). Investigating the encoding and retrieval of intentions with event-related potentials. *Consciousness and Cognition*, 12(1), 1-18; discussion 19-24; author reply 25-30.
- Lundstrom, B. N., Ingvar, M., & Petersson, K. M. (2005). The role of precuneus and left inferior frontal cortex during source memory episodic retrieval. *Neuroimage*, 27(4), 824-834.
- Lundstrom, B. N., Petersson, K. M., Andersson, J., Johansson, M., Fransson, P., & Ingvar, M. (2003). Isolating the retrieval of imagined pictures during episodic memory: activation of the left precuneus and left prefrontal cortex. *Neuroimage*, 20(4), 1934-1943.
- Marsh, R. L., Cook, G. I., & Hicks, J. L. (2006). Task interference from event-based intentions can be material specific. *Memory and Cognition*, 34(8), 1636-1643.
- Marsh, R. L., Hancock, T. W., & Hicks, J. L. (2002). The demands of an ongoing activity influence the success of event-based prospective memory. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(3), 604-610.

- Marsh, R. L., Hicks, J. L., Cook, G. I., Hansen, J. S., & Pallos, A. L. (2003). Interference to ongoing activities covaries with the characteristics of an event-based intention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29(5), 861-870.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multiprocess framework. *Applied cognitive psychology*, 14, S127-S144.
- McDaniel, M. A., Robinson-Riegler, B., & Einstein, G. O. (1998). Prospective remembering: perceptually driven or conceptually driven processes? *Memory and Cognition*, 26(1), 121-134.
- McDermott, K. B., Jones, T. C., Petersen, S. E., Lageman, S. K., & Roediger, H. L., 3rd. (2000). Retrieval success is accompanied by enhanced activation in anterior prefrontal cortex during recognition memory: an event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(6), 965-976.
- Medford, N., & Critchley, H. D. (2010). Conjoint activity of anterior insular and anterior cingulate cortex: awareness and response. *Brain Structure and Function*, 214(5-6), 535-549.
- Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Sawamoto, N., et al. (1999). Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *Neuroimage*, 10(2), 193-199.
- Naghavi, H. R., & Nyberg, L. (2005). Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: shared demands on integration? *Consciousness and Cognition*, 14(2), 390-425.
- Okada, K., Vilberg, K. L., & Rugg, M. D. (2011). Comparison of the neural correlates of retrieval success in tests of cued recall and recognition memory. *Human Brain Mapping*.
- Okuda, J., Fujii, T., Ohtake, H., Tsukiura, T., Tanji, K., Suzuki, K., et al. (2003). Thinking of the future and past: the roles of the frontal pole and the medial temporal lobes. *Neuroimage*, 19(4), 1369-1380.
- Okuda, J., Fujii, T., Ohtake, H., Tsukiura, T., Yamadori, A., Frith, C. D., et al. (2007). Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 64(3), 233-246.
- Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., et al. (1998). Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: evidence from a PET study in humans. *Neuroscience Letters*, 253(2), 127-130.
- Okuda, J., Gilbert, S. J., Burgess, P. W., Frith, C. D., & Simons, J. S. (2011). Looking to the future: automatic regulation of attention between current performance and future plans. *Neuropsychologia*, 49(8), 2258-2271.
- Poppenk, J., Moscovitch, M., McIntosh, A. R., Ozelik, E., & Craik, F. I. (2010). Encoding the future: successful processing of intentions engages predictive brain networks. *Neuroimage*, 49(1), 905-913.

- Reynolds, J. R., West, R., & Braver, T. (2009). Distinct neural circuits support transient and sustained processes in prospective memory and working memory. *Cerebral Cortex*, 19(5), 1208-1221.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114 (Pt 2), 727-741.
- Shannon, B. J., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of memory retrieval that suggest nontraditional processing roles for multiple distinct regions within posterior parietal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 24(45), 10084-10092.
- Simons, J. S., Scholvinck, M. L., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Differential components of prospective memory? Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 44(8), 1388-1397.
- Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29(3), 347-361.
- Sumner, P., Nachev, P., Morris, P., Peters, A. M., Jackson, S. R., Kennard, C., et al. (2007). Human medial frontal cortex mediates unconscious inhibition of voluntary action. *Neuron*, 54(5), 697-711.
- Suzuki, W. A., & Amaral, D. G. (1994). Perirhinal and parahippocampal cortices of the macaque monkey: cortical afferents. *Journal of Comparative Neurology*, 350(4), 497-533.
- Taylor, K. S., Seminowicz, D. A., & Davis, K. D. (2009). Two systems of resting state connectivity between the insula and cingulate cortex. *Human Brain Mapping*, 30(9), 2731-2745.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Van der Werf, Y. D., Scheltens, P., Lindeboom, J., Witter, M. P., Uylings, H. B., & Jolles, J. (2003). Deficits of memory, executive functioning and attention following infarction in the thalamus; a study of 22 cases with localised lesions. *Neuropsychologia*, 41(10), 1330-1344.
- Velanova, K., Jacoby, L. L., Wheeler, M. E., McAvoy, M. P., Petersen, S. E., & Buckner, R. L. (2003). Functional-anatomic correlates of sustained and transient processing components engaged during controlled retrieval. *The Journal of Neuroscience*, 23(24), 8460-8470.
- Vilberg, K. L., & Rugg, M. D. (2008). Memory retrieval and the parietal cortex: a review of evidence from a dual-process perspective. *Neuropsychologia*, 46(7), 1787-1799.
- Wagner, A. D., Shannon, B. J., Kahn, I., & Buckner, R. L. (2005). Parietal lobe contributions to episodic memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 445-453.
- West, R., & Krompinger, J. (2005). Neural correlates of prospective and retrospective memory. *Neuropsychologia*, 43(3), 418-433.

- West, R., McNerney, M. W., & Travers, S. (2007). Gone but not forgotten: the effects of cancelled intentions on the neural correlates of prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, 64(3), 215-225.
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2003). Functional dissociation among components of remembering: control, perceived oldness, and content. *The Journal of Neuroscience*, 23(9), 3869-3880.
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of remembering and knowing. *Neuroimage*, 21(4), 1337-1349.

Table 1.

Mean performance (SD) on ongoing trials, alone and with an added PM task and on PM trials

		Ongoing tasks		
		SPD	CR	RN
Ongoing tasks	Accuracy (%)	99.45 (0.98)	80.03 (8.12)	98.2 (2.48)
alone	% perfect score*	75	--	56
	RT (ms)	1131 (288)	1769 (281)	983 (229)
Ongoing tasks +	Accuracy (%)	99.01 (1.63)	77.34 (8.37)	98.17 (1.89)
PM	% perfect score	69	--	44
	RT (ms)	1248 (303)	1904 (275)	1116 (232)
PM task	Accuracy (%)	93.75 (7.91)	98.44 (4.27)	97.66 (5.04)
	% perfect score	56	88	81
	RT (ms)	1140 (210)	1052 (215)	985 (211)

* Percentage of subjects with a perfect score

Table 2.
Brain activations during SPD task alone and with an added PM task.

Brain region	Peak MNI coordinates			Z	Voxels
	X	Y	Z		
SPD > control task					
Right cerebellum / fusiform gyrus (BA19)	32	-42	-22	6.18	14251
Left precuneus / inferior parietal lobule (BA 7/40)	-24	-50	46	4.47	681
Left middle frontal gyrus (BA9)	-50	16	28	3.85	187
Left insula (BA13)	-30	28	6	3.83	29
Left inferior parietal lobule (BA40)	-42	-26	42	3.71	23
Right superior frontal gyrus (BA6)	8	16	50	3.64	17
PM Maintenance > SPD *					
<i>No suprathreshold clusters at $p<0.001$</i>					
Right thalamus (medio-dorsal)	4	-10	0	3.48	47
Right thalamus(pulvinar)	10	-34	4	3.64	19
Right medial frontal gyrus (BA6)	18	34	32	3.64	22
PM retrieval > SPD					
Left thalamus (pulvinar)	-10	-28	-2	4.47	157
Left precuneus (BA7/31)	-2	-74	44	3.87	296
Left inferior parietal lobe (BA40)	-52	-30	52	3.76	290
Left postcentral gyrus (BA2/3)	-42	-28	64	3.73	38
Right thalamus (medio-dorsal)	6	-8	-2	3.64	14
Right superior frontal gyrus (BA6)	24	-2	72	3.60	19
Right caudate body	6	6	10	3.50	31
Left cingulate gyrus (BA31)	-2	-34	30	3.42	39
Left caudate head	-4	12	-8	3.38	19
Left precentral gyrus (BA6)	-26	-4	68	3.37	24
Left precuneus (BA7)	-16	-72	54	3.28	15
PM retrieval > PM maintenance					
Left precentral gyrus (BA4)	-14	-24	76	4.79	71
Left cerebellum	-18	-44	-22	4.32	766
Right middle occipital gyrus (BA18)	30	-88	8	4.08	33
Left inferior parietal lobule (BA40)	-42	-24	42	3.8	140
Left thalamus (ventral-lateral)	-12	-10	10	3.69	71
Left posterior cingulate (BA 29)	-2	-40	16	3.69	31
Right thalamus (medial dorsal; pulvinar)	12	-16	8	3.66	65
Right thalamus (anterior)	12	-4	8	3.62	42
Right cerebellum	4	-64	-6	3.57	56
Right cerebellum	20	-72	-28	3.44	19

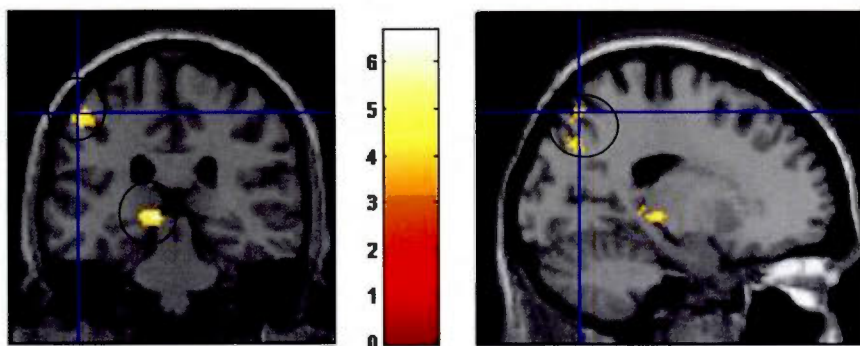
all at $p < 0.001$ non-corrected for multiple comparison; exception: * $p < 0.005$

Table 3.
Brain activations shared by PM and RM retrieval.

Brain region	Peak MNI coordinates			Z	Voxels
	X	Y	Z		
Common to PM and RM retrieval tasks					
Left thalamus (pulvinar)	-10	-28	-2	4.47	150
Left Inferior parietal lobule (BA40)	-52	-30	52	4.98	254
Left precuneus (BA31)	-18	-72	36	3.54	19
Left precuneus (BA7)	-16	-72	54	3.28	15
Common to PM retrieval-maintenance and RM retrieval tasks					
Left cerebellum	-18	-44	-22	4.32	85
Right cerebellum	14	-54	-26	4.15	444
Right middle occipital gyrus (BA18)	28	-88	4	3.88	27
Left inferior parietal lobule (BA40)	-42	-24	42	3.80	127
Left thalamus (ventral-lateral)	-12	-10	10	3.70	35
Right thalamus (medial-dorsal)	12	-16	8	3.66	52
Right cerebellum	4	-64	-6	3.57	57
Unique to PM vs RM retrieval tasks					
Left precuneus (7/31)	-2	-74	44	3.87	149
Right thalamus (medio-dorsal)	6	-8	-2	3.64	12
Right caudate body	6	6	10	3.50	25
Right superior frontal gyrus (BA6)	24	-2	70	3.44	13
Left caudate head	-4	12	-8	3.38	19
Left cingulate gyrus (BA31)	-2	-36	36	3.35	18
Unique to PM retrieval-maintenance vs RM retrieval tasks					
Left frontal (BA4)	-14	-24	76	4.79	69
Left cerebellum	-14	-44	-24	4.24	60
Right thalamus (medio-dorsal)	6	-20	10	3.49	11
Posterior cingulate (BA29)	0	-38	14	3.41	14

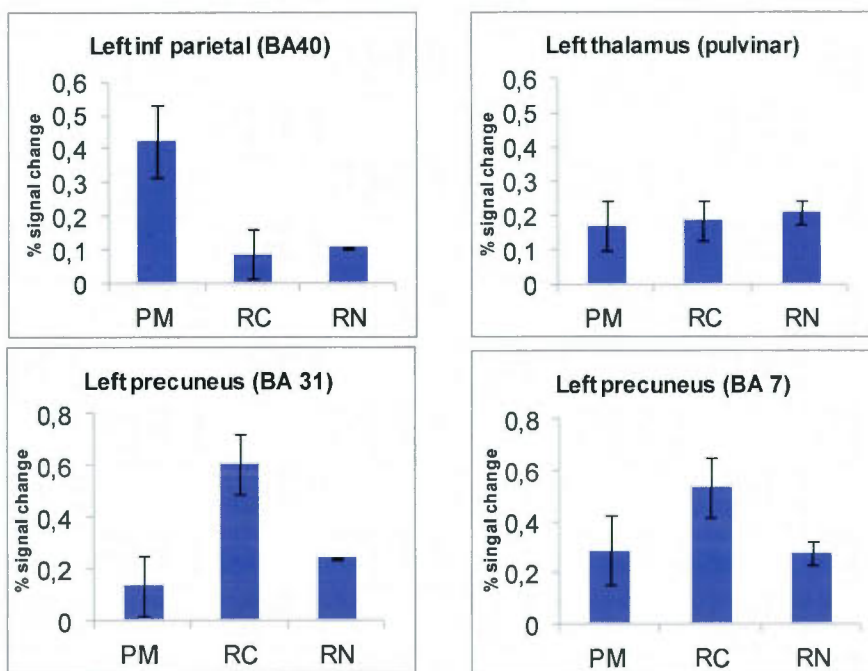
all p<0.001 non-corrected for multiple comparison

all $p < 0.001$ non-corrected for multiple comparison



a) b)
Figure 1. Significant activations in common to PM retrieval (minus SPD task) and RM tasks

($p < 0.001$) in the a) left inferior parietal lobule (BA40) and left thalamus, and b) lateral portion of the left precuneus (BA31/7) c) average percentage signal change (mean beta values) against average baseline signal, in each region calculated in a 2 mm sphere radius around the peak coordinates.



c)

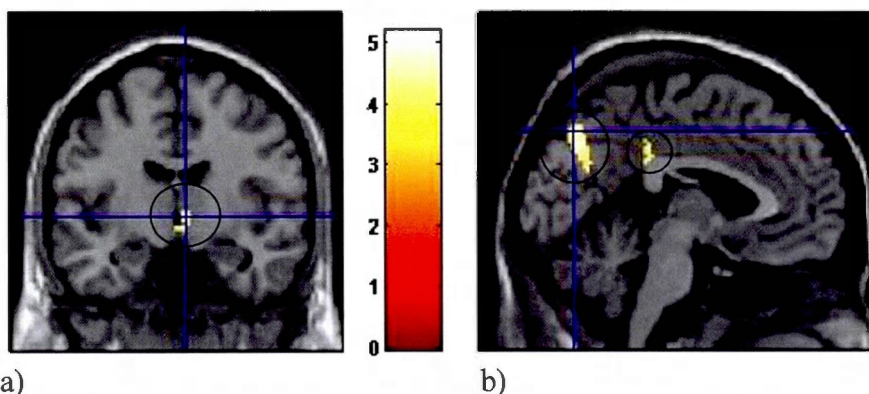
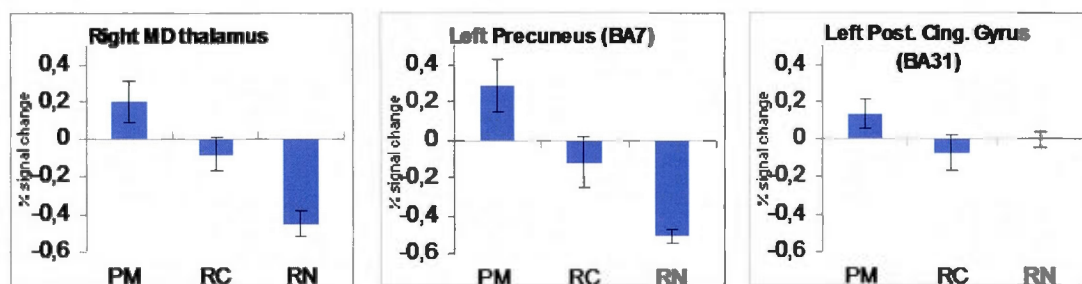


Figure 2. Significant unique activations in PM retrieval (minus SPD task) compared to RM tasks

($p < 0.001$) in the a) right MD thalamus, and b) medial portion of the left precuneus and left posterior cingulate gyrus; c) average percentage signal change (mean beta values) against average baseline signal in each region calculated in a 2 mm sphere radius around the peak coordinates.



CHAPITRE IV

DISCUSSION GÉNÉRALE

4.1 Le protocole intra-sujets dans la recherche en MP

La mémoire prospective fait l'objet d'un nombre grandissant d'études expérimentales, autant au plan comportemental qu'en neuroimagerie. Bien que les caractéristiques essentielles d'une tâche prospective soient relativement acceptées de tous (Burgess, et al., 2003; Einstein & McDaniel, 1990; Ellis & Kvavilashvili, 2000; Smith, 2010) certains aspects méthodologiques demeurent plus controversés, en particulier l'utilisation de protocoles intra-sujets ou inter-sujets (Burgess, et al., 2011a; Einstein & McDaniel, 2010; Smith, 2010; Smith, et al., 2007). Le premier article de cette thèse s'est donc intéressé à explorer la validité d'un protocole intra-sujets, incluant le contrebalancement de l'ordre de passation de la tâche prospective, étant donné que ce type de méthodologie a fait l'objet de débat. Le point important était de déterminer si les sujets pouvaient suffisamment oublier ou supprimer l'intention prospective lorsqu'on les informait que celle-ci avait été complétée.

Tout d'abord, nous avons observé une augmentation des temps de réponses aux items des trois tâches concurrentes lors de l'ajout d'une tâche de MP, témoignant d'un effet d'interférence prospective (EIP) (Burgess, et al., 2001; R. L. Marsh, et al., 2003; Smith, 2003). Ce qui est plus important encore est que cet effet s'est avéré similaire pour les deux groupes de contrebalancement, bien que leurs performances pouvaient être influencées différemment dans les deux conditions (effet de pratique aux tâches concurrentes+ PM ou aux tâches contrôles). Nous avons pu montrer également que l'EIP n'était pas exclusivement attribuable à la réponse motrice additionnelle requise par la tâche de MP ou par le fait de devoir alterner entre deux

types de réponses étant donné que les temps de réponses étaient similaires entre les blocs de maintien de l'intention, sans indice prospectif et les blocs de récupération de l'intention, avec indices prospectifs.

Les résultats obtenus dans le premier article, c'est-à-dire l'absence de différence entre les groupes de contrebalancement, sont compatibles avec les résultats de l'étude de Scullin, Einstein et McDaniel (2009) et celle de Marsh, Hicks et Cook (2006). Ces auteurs ont entre autres montré qu'un effet d'EIP persistait à la tâche concurrente lorsque l'intention était interrompue ou en suspens, alors que celui-ci disparaissait lorsque l'intention était perçue comme étant réalisée. Ces résultats pourraient donc être en accord avec la théorie des processus multiples en MP de McDaniel et Einstein (2000) et ils pourraient signifier que les mécanismes de récupération spontanés seraient automatiquement déclenchés en présence de l'indice lorsque l'intention demeure non-complétée, mais ils seraient désactivés lorsqu'une tâche de MP est accomplie ou complétée. Goshke et Kuhl (1993) ont avancé que l'intention prospective résiderait en mémoire avec un statut particulier, ce qui nous permettrait de focaliser pleinement sur la réalisation de l'intention choisie et d'inhiber les intentions intrusives. Ce mécanisme adaptatif nous permettrait donc d'oublier les multiples intentions qui sont formées dans notre vie quotidienne et nous permettrait de réduire le fardeau sur les ressources cognitives (R. L. Marsh, et al., 1998; Scullin, et al., 2009).

Dans la littérature en MP, l'EIP est utilisé couramment afin de statuer sur les processus cognitifs sous-jacents à la réalisation d'une tâche prospective. Ainsi, selon la théorie PAM en MP (preparatory attentional et retrospective memory processes), il est présumé que le coût observé sur la performance à la tâche concurrente (temps de réponses allongés ou baisse de la précision) reflèterait la mise en place de processus stratégiques et de monitoring qui permettait d'atteindre une meilleure performance à la tâche prospective (Burgess, et al., 2001; Einstein, et al., 1997; R. L. Marsh, et al., 2003; Smith, 2003). Bien que des études comportementales et en ERP semblent appuyer cette notion (Smith & Bayen, 2004; West, Krompinger, & Bowry, 2005)

certain auteurs ont apporté des bémols à cette interprétation. Einstein et McDaniel (2010) ont entre autres appelé à la prudence quant à l'établissement de conclusion en faveur du modèle de PAM ou du modèle à processus multiples en se basant sur la présence d'un coût à la performance durant la tâche concurrente. Pour eux, le fait d'observer un coût à la tâche concurrente lors de l'ajout d'une intention prospective, pourrait signifier uniquement qu'un nombre suffisant de sujets ont mis en place des processus stratégiques sur une quantité suffisante d'items pour entraîner un EIP. Ainsi, des études ayant réalisé un examen plus précis des données individuelles (Einstein, et al., 2005) ou des signaux en lien avec la réalisation d'une tâche de MP (West, McNerney, & Travers, 2007) ont apporté certaines nuances concernant l'utilisation du EIP moyen (groupe de sujets ou items de la tâche concurrente) dans l'établissement de liens avec les processus sous-jacents en MP.

Dans notre étude, les résultats du questionnaire post-expérimentation ont également permis d'avoir accès à des informations très intéressantes, c'est-à-dire que nous avons pu subdiviser notre échantillon en deux sous-groupes de participants (monitoring et automatique). Ces données semblent en accord avec la théorie des processus multiples (McDaniel & Einstein, 2000) qui avance que la réalisation d'une tâche de MP peut être supportée par des processus stratégiques et spontanés, selon les caractéristiques des tâches et les différences individuelles. Bien que ces sujets aient dit avoir utilisé des stratégies différentes, l'EIP (temps de réponses) était statistiquement semblable. Il est donc possible que l'EIP ne reflète pas totalement les processus cognitifs mis en place durant la tâche de MP. Nous ne pouvons toutefois pas exclure que les participants n'aient pas été pleinement conscients des processus cognitifs qui étaient en jeu durant l'exécution des tâches concurrentes +MP. En effet, la théorie PAM stipule que les processus préparatoires peuvent être sous le focus de l'attention, c'est-à-dire une surveillance stratégique explicite de l'environnement pour la détection d'indices prospectifs, mais qu'ils peuvent aussi être en dehors du focus attentionnel (Smith, et al., 2007). Selon ce modèle, les deux mécanismes accaparaient néanmoins des ressources cognitives conscientes. Il peut devenir laborieux dans ce

contexte de tenter de distinguer les différences subtiles entre les processus stratégiques hors du focus attentionnel décrits dans le modèle PAM (Smith, 2003) et les mécanismes spontanés du modèle à processus multiples de Mc Daniel et Einstein (2000). De plus, il est supposé que lorsque les mécanismes spontanés sont responsables de la détection de l'indice prospectif selon le modèle des processus multiples, l'indice déclenche la récupération de l'intention via un système associatif en mémoire. Afin d'atteindre la conscience, les informations reliées à l'indice doivent atteindre un certain seuil et celui-ci pourrait être modulé selon la difficulté de la tâche en cours. Si la tâche est très exigeante et recrute davantage de ressources attentionnelles, le seuil serait accru, ce qui dépendrait d'une certaine préparation de l'individu (Smith, 2010). Il appert donc que davantage de travaux et une meilleure définition des mécanismes précis suggérés par ces deux théories seront nécessaires.

En examinant plus précisément les résultats des deux sous-groupes de participants (monitoring ou automatique), nous avons observé que le groupe de monitoring affichait une performance parfaite durant la tâche de RN, alors qu'environ seulement la moitié des sujets du groupe automatique avait réussi à détecter tous les indices durant cette tâche. Ce patron de résultats pourrait suggérer que le fait d'avoir déployé des processus préparatoires durant l'ensemble des tâches ou même en partie, a permis au groupe monitoring d'atteindre une performance plus stable et d'améliorer leur performance au fil des tâches (Cherry & LeCompte, 1999; Einstein & McDaniel, 1990). De plus, les sujets du groupe monitoring ont obtenu (tendance) des résultats plus faibles à la tâche de RC comparé aux sujets du groupe automatique. Comme cette tâche était la plus exigeante de la série de tâches concurrentes (effort de récupération accru et taux de bonnes réponses plus faibles), elle pourrait avoir été plus sensible à l'impact des processus préparatoires sur les ressources cognitives disponibles. De plus, ces résultats ne peuvent être attribués à des différences individuelles dans la performance à la tâche mnésique qui ne seraient pas liées aux stratégies utilisées, étant donné que la performance à la tâche de RC sans MP était similaire entre les groupes. Étant donné la divergence trouvée entre l'EIP mesuré sur

les temps de réponses et les processus rapportés par les sujets, des études supplémentaires s'avèreront nécessaires afin de spécifier les fonctions cognitives sous-jacentes à l'EIP.

En somme, les résultats présentés dans cet article suggèrent que l'utilisation d'un protocole intra-sujets peut être valide dans l'étude de la MP et de l'EIP (Einstein & McDaniel, 2010). Il semble que les sujets qui ont été informés que la tâche de MP était complétée ont été en mesure de suffisamment l'oublier durant la série de tâches concurrentes subséquentes pour obtenir un EIP similaire au groupe ayant reçu les tâches dans l'ordre inverse. Ce type de protocole permet donc de comparer les performances des mêmes sujets dans deux contextes, ce qui peut s'avérer un avantage étant donné les variabilités individuelles dans les temps de réponses et le pourcentage de bonnes réponses aux tâches administrées. Le choix de ce type de méthodologie en comparaison à l'utilisation d'un groupe contrôle, s'est imposé dans la conduite de notre étude en IRMf. Étant donné le coût élevé des séances d'acquisitions en neuroimagerie, la participation de deux groupes de sujets était peu abordable. De plus, étant donné les variabilités individuelles élevées des activations en neuroimagerie, il nous apparaissait plus valide d'étudier les régions cérébrales d'un même individu dans deux contextes différents (avec ou sans MP) que de comparer deux individus dans deux contextes différents. Dans notre étude, nous avons un mesuré un EIP assez élevé ou puissant, mais l'interprétation des résultats dans un design intra-sujets peut devenir plus ambiguë lorsque cet effet est plus subtil ou faible. Par exemple, Smith et al. (2007) soulignent que l'absence d'un ralentissement des temps de réponses dans un protocole intra-sujets peut tout de même indiquer un EIP par l'absence d'un effet de pratique.

Nous demeurons néanmoins conscients que cette étude implique un nombre restreint de participants, bien que ceux-ci aient effectué trois types de tâches concurrentes dans deux contextes différents. Il serait donc intéressant de poursuivre ce travail sur un nombre plus important de sujets afin d'explorer davantage les sous-groupes qui émergent par l'utilisation du questionnaire post-expérimentation. De plus,

le niveau de difficulté à la tâche de MP demeurait relativement faible comme en témoigne les effets plafond obtenus. Il serait pertinent d'augmenter le niveau de difficulté de la tâche prospective afin d'obtenir une variance plus grande dans la performance. Le nombre d'indices, leur saillance ou leur lien avec la tâche concurrente en cours pourraient être également modifiés afin d'observer si les patrons de stratégies (monitoring ou automatique) s'en trouvent changés. La comparaison directe du protocole intra et inter-sujets, par l'ajout d'un groupe contrôle aurait aussi pu amener un outil de comparaison de plus dans l'exploration de la validité du protocole intra-sujets.

À partir de ces résultats, nous nous sommes intéressés dans le cadre du 2e article, aux corrélats neuroanatomiques liés à l'administration de ce protocole à notre groupe de sujets.

4.2 Neuroimagerie de la mémoire prospective

L'objectif du second article de cette thèse était d'examiner les régions cérébrales qui étaient sollicitées lors de la récupération en MP et en MR en utilisant l'IRMf. Nous voulions identifier les corrélats neuroanatomiques que ces deux fonctions avaient en commun et ceux qui étaient plus spécifiquement associés à la MP.

4.2.1 Activations communes entre la récupération en MR et MP

Tout d'abord, nous avons observé des activations communes entre les blocs de tâches de récupération rétrospective et les blocs de récupération prospective (vs DSP isolée) au niveau du précunéus gauche (BA7/31; portion latérale) et du lobule pariétal inférieure gauche (BA40). Les études en neuroimagerie rapportent fréquemment l'implication du précunéus dans l'accomplissement de diverses tâches, incluant les tâches de MP (Burgess, et al., 2011a; Burgess, et al., 2001; den Ouden, et al., 2005; Hashimoto, et al., 2011; Poppenk, et al., 2010; Reynolds, et al., 2009; Simons, et al., 2006) et la récupération en mémoire épisodique rétrospective (McDermott, Jones,

Petersen, Lageman, & Roediger, 2000; Naghavi & Nyberg, 2005; Shannon & Buckner, 2004; Velanova, et al., 2003; Wheeler & Buckner, 2003). Un modèle récent, tentant d'unifier les différents résultats présents dans la littérature, a proposé une dissociation fonctionnelle entre les parties antérieures et postérieures du précunéus (Cavanna & Trimble, 2006). Ce modèle postule que la partie antérieure (coordonnées y près de -60 mm) pourrait être associée à un mode de récupération (imagerie polymodale) et la partie postérieure (y près de -70 mm) serait davantage liée à la récupération réussie en mémoire. En examinant de plus près nos activations dans le précunéus, nous avons constaté que celles qui étaient en communs entre les deux types de récupération (MR et MP) étaient situées plus postérieurement (y = -72), alors que celles retrouvées durant les blocs de maintien de la tâche de MP (sans indices de MP) étaient davantage antérieures (y = entre -38 à -52 selon les 3 tâches). Il est donc possible que les blocs de maintien de l'intention, sans indices prospectifs, aient pu solliciter les régions liées au mode de récupération, alors que les régions postérieures auraient été plus impliquées lors de la récupération réelle en MR et MP. De plus, les variations de signal dans la région du précunéus selon les tâches de récupération (MP, RC, RN), semblent appuyer les études montrant son implication dans la récupération de détails contextuels riches en mémoire ou d'association contextuelle (Lundstrom, Ingvar, & Petersson, 2005; Lundstrom et al., 2003).

Nous avons également observé dans notre étude des activations du cortex pariétal latéral gauche (BA40) en commun entre les tâches de récupération en MP et en MR. Des études en neuroimagerie (Okada, Vilberg, & Rugg, 2011; Vilberg & Rugg, 2008; Wagner, Shannon, Kahn, & Buckner, 2005; Wheeler & Buckner, 2004) et auprès de populations cliniques (Eustache et al., 2004; Imabayashi et al., (2004). ont rapporté l'implication du cortex pariétal latéral lors de la récupération épisodique en mémoire. Le précunéus, le lobe pariétal latéral gauche, les cortex cingulaire postérieur et rétrospénial seraient particulièrement activés en lien avec la récupération adéquate en mémoire (vs nouveaux items) et d'autant plus lors de la récupération d'informations riches en mémoire plutôt qu'à celle basée sur la

familiarité (Wagner, Shannon, Kahn, & Buckner, 2005). En se basant sur l'hypothèse des doubles processus attentionnels (dual attentional processes hypothesis: DAP) de Cabeza (2008), les activations du cortex pariétal ventral (CPV: gyrus angulaire et supramarginal: BA39-40) retrouvées dans notre étude pourrait refléter la mise en place de processus attentionnels ascendants (bottom-up). Ainsi, en présence d'un indice mnésique significatif durant une tâche de récupération en mémoire épisodique, les sujets désengageraient leur attention du stimulus présenté afin de rechercher en mémoire les informations pertinentes liées à cet item, ce qui permettrait de prendre une décision le concernant (Wheeler, Stuss, & Tulving, 1997).

4.2.2 Activations associées spécifiquement à la tâche de MP

Nous avons exploré dans un deuxième temps les régions qui étaient activées durant les blocs de récupération en MP, mais qui n'étaient pas incluses dans les activations conjointes des tâches de RC et RN. Nous avons observé des activations à gauche, au niveau du précunéus (BA7/31; portion médiane), du noyau caudé, du gyrus cingulaire postérieur (BA31) et à droite, au niveau du thalamus (dorsomédian), du noyau caudé et du gyrus frontal supérieur droit (BA6).

Les activations du thalamus dorsomédian (DM) que nous avons obtenues semblaient particulièrement associées à la récupération en MP (récupération en MP > DSP contrôle et récupération en MP > maintien en MP) (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003). Carlesimo et al. (2010) ont suggéré que les noyaux dorsomédian, médians et intralaminaires qui ont des connexions avec le cortex préfrontal, seraient engagés dans la composante prospective de la tâche de MP, c'est-à-dire lors de la récupération en mémoire et au sein des fonctions exécutives. Le thalamus DM pourrait ainsi moduler les processus exécutifs préfrontaux impliqués en mémoire, en fonction des intentions et des plans formulés (Carlesimo et al., 2010; Van der Werf et al., 2003).

Nous avons aussi observé des activations qui étaient associées spécifiquement aux blocs de tâches de MP (versus tâches de MR) au niveau de la portion médiane du

précunéus gauche et du gyrus frontal supérieur droit. L'activité synchronisée dans le gyrus frontal supérieur et le précunéus a été associée précédemment au changement du focus attentionnel (Nagahama et al., 1999). L'AMS a été liée dans la littérature aux actions orientées vers un but et aux mécanismes inhibiteurs, qui pourrait permettre l'inhibition de la réponse à la tâche concurrente au profit de la réponse à la tâche de MP (Sumner et al., 2007). L'implication de l'aire motrice supplémentaire (AMS) lors de l'exécution d'une tâche de MP pourrait être liée au contrôle cognitif des actions futures (Hashimoto, Umeda & Kojima, 2011).

Durant les blocs de maintien en MP, des activations étaient présentes au gyrus frontal médian (BA6)/ gyrus cingulaire antérieur (BA32) ce qui pourrait être en lien avec une surveillance accrue de l'environnement dans le but de détecter les indices de MP. La partie antérieure du gyrus cingulaire a été associée précédemment au contrôle attentionnel, au monitoring de l'environnement, à la vigilance et au processus descendants permettant de diriger l'attention envers les stimuli pertinents (Casey et al., 2000; Hashimoto, et al., 2011; Medford & Critchley, 2010; Taylor, Seminowicz, & Davis, 2009).

Nous n'avons pas observé d'activations des régions préfrontales antérieures (BA10) durant la présente expérimentation (seulement à des seuils plus permissifs: $p < 0.05$ non-corrigé), contrairement à plusieurs études sur la MP dans la littérature (Burgess, et al., 2001; Burgess, et al., 2003; Okuda, et al., 2007; Reynolds, et al., 2009; Simons, et al., 2006). Il a été suggéré que le CPFa pourrait être impliqué dans les processus de monitoring qui permettraient la sélection adéquate d'une représentation interne plus rare durant l'accomplissement d'une multitâche et qui permettraient l'alternance entre les tâches (Reynolds, West & Braver, 2009). Ces auteurs ont avancé que l'implication du CPFa pourrait possiblement être réduite si la tâche de MP nécessitait moins de surveillance stratégique ou de monitoring et différents éléments semblent suggérer que ce pourrait être le cas dans notre étude. En effet, bien que présentes à un seuil permissif, les activations du CPFa observées étaient surtout présentes durant cette première tâche concurrente, durant laquelle les

stimuli étaient nouveaux et plus susceptibles de nécessiter un monitoring plus élevé. Le patron des temps de réponses aux indices prospectifs semble suggérer que les sujets sont devenus plus rapides à les détecter à mesure que les tâches progressaient et que les indices devenaient plus familiers. La réalisation de la tâche de MP aurait pu donc devenir davantage automatique dans ce contexte, ce qui expliquerait la réduction des activations du CPFa aux dernières tâches concurrentes. De plus, le traitement requis par la tâche concurrente semblait suffisamment en profondeur pour permettre la détection de l'indice et la difficulté des tâches concurrentes semblait en moyenne faible, ce qui aurait pu faciliter la gestion simultanée des tâches concurrentes et de MP.

Par ailleurs, nous ne pouvons totalement exclure la contribution d'un phénomène plus technique dans la difficulté de détecter des activations dans le CPFa. Ainsi, les régions frontopolaires et orbitales sont particulièrement sensibles à la chute du signal en IRMf en raison de la différence de susceptibilité magnétique entre les tissus et l'air dans les régions près des sinus (Glover & Law, 2001). Le protocole d'acquisitions des images à l'hôpital Notre-Dame n'impliquait toutefois pas de corrections additionnelles pour contrer davantage ce problème, qui peut être accentué avec les appareils plus puissants (3 Tesla vs 1,5 T).

Cette étude en IRMf a donc permis de révéler des activations communes entre la récupération en MR et en MP dans les régions pariétales latérales et médianes et dans le thalamus. Ainsi, les régions que nous avons observées en commun avec la récupération en MR et en MP, ont été initialement surprenantes. Celles-ci sont moins classiquement mentionnées dans les modèles concernant le fonctionnement de la mémoire épisodique, d'autant plus que les lésions cérébrales les affectant n'entraînent habituellement pas de déficits mnésiques importants, contrairement aux lésions temporales médianes ou frontales. Toutefois, on relève dans la littérature un nombre croissant d'études s'intéressant à définir leur rôle en mémoire. Nous avons par exemple retrouvé des patrons d'activations intéressants dans le précunéus qui pourraient être en lien avec l'effort de récupération en mémoire et la richesse des

détails à récupérer. Il serait donc pertinent d'examiner dans des études ultérieures plus systématiquement l'influence de certains paramètres sur les activations dans ces régions, tel que le pourcentage d'items déjà présentés vs nouveaux, le pourcentage de bonnes réponses, la richesse des informations associées aux stimuli, etc. D'un autre côté, nous avons aussi trouvé des activations plus spécifiquement associées à la récupération en MP au niveau du gyrus frontal supérieur, du thalamus DM, du précunéus, du noyau caudé et du gyrus cingulaire postérieur. Nous supposons que ces régions sous-tendent les processus attentionnels et exécutifs additionnels responsables de la préparation des actions orientées vers un but, la flexibilité attentionnelle et l'inhibition des réponses qui permettent une coordination adéquate de la tâche concurrente et de la tâche de MP.

Malgré l'importance cruciale de la MP dans notre vie quotidienne, les études s'intéressant à définir les corrélats neuroanatomiques et les processus sous-jacents de ce type de mémoire sont encore très peu nombreuses. Étant donné ce petit nombre d'expérimentation, on retrouve une grande variabilité dans les régions impliquées durant l'exécution des tâches de MP et plusieurs données doivent être répliquées afin d'en confirmer la pertinence. De plus, la plupart des études en neuroimagerie utilisent des protocoles relativement simples étant donné les contraintes méthodologiques de l'IRMf et l'étude que nous avons réalisée ne fait malheureusement pas exception. Ces expérimentations ne peuvent évidemment pas recréer la complexité et la richesse des multiples intentions prospectives que nous réalisons tous les jours. La composante rétrospective de notre tâche était ainsi assez simple et faisait plus appel à la détection de l'indice que la récupération détaillée d'actions associées à l'indice, comme c'est fréquemment le cas en IRMf. Il demeure difficile de complexifier cette composante en interrompant la tâche concurrente et en demandant par exemple d'évoquer une action particulière en lien avec l'indice, dans le contexte d'acquisitions continues et pré-déterminées des images en IRMf. Il aurait pu être néanmoins intéressant de faire apprendre une liste d'indices spécifiques avant la période d'acquisitions en IRMf ce qui aurait augmenté le niveau de difficulté. Nous voulions nous assurer par ailleurs

d'avoir un taux de réussite suffisant à la tâche de MP pour permettre une analyse adéquate des corrélats neuronaux. Il pourrait être pertinent de tenter d'adapter des protocoles plus complexes et plus écologiques afin de les intégrer à une expérimentation en IRMf, tel que l'étude de Kalpouzos et al. (2010). Ces auteurs ont utilisé une combinaison de méthodes (IRMf, réalité virtuelle, oculométrie, rapports verbaux) pour tenter de cerner les processus cognitifs et les régions impliqués durant la réalisation d'une tâche de MP plus écologique (faire des courses dans une ville). Ce type de projet innovateur est donc prometteur dans l'étude de la MP. De plus, nous avons choisi d'utiliser un design en blocs car nous voulions examiner les processus soutenus en place durant la tâche et nous voulions nous assurer d'avoir une puissance statistique suffisante étant donné que le nombre d'indices étaient peu élevés pour une analyse événementielle (event-related). Il est évident que le protocole événementiel aurait permis d'accéder à des informations intéressantes supplémentaires, par exemple l'activité spécifique liée au succès ou à l'effort de récupération en mémoire, aux bonnes ou fausses reconnaissances, à la détection réussie ou manquée des indices prospectifs. Les effets plafonds observés à certaines de nos tâches auraient toutefois sans doute limité les possibilités de comparaison (ex. items réussis vs échoués). Comme nous n'avons pas observé de façon claire des activations au CPFa (BA10), il serait pertinent de manipuler les paramètres de la tâche de MP plus systématiquement afin de vérifier si on observe des changements dans l'activation de cette région. Burgess, Gonen-Yaacovi & Volle (2011) ont suggéré entre autres la manipulation d'indices implicites liés à l'item prospectif ou à l'action prospective, de la nature ou la complexité de l'intention, des instructions données, etc.

Les résultats des deux études semblent en faveur de la théorie des processus multiples en MP (McDaniel et Einstein, 2000). En effet, certains résultats en IRMf, en particulier le patron d'activations au CPFa et les rapports verbaux des sujets semblent suggérer que la réalisation d'une tâche de MP peut impliquer des processus stratégiques et spontanés dépendant des conditions de la tâche (tâche concurrente et de MP) et des variables individuelles. En recrutant davantage de sujets, il pourrait être

intéressant de corréler directement les activations obtenues en IRMf avec les stratégies rapportées par les sujets et la performance à la tâche. Les effets plafonds de plusieurs de nos tâches ont limité certaines corrélations entre les activations en IRMf et la performance. En modulant le niveau de difficulté des tâches tel que mentionné précédemment, ce genre d'analyses pourraient être plus révélatrices. De plus, une analyse des sous-groupes de sujets apparaît une approche plus spécifique car il semble que d'analyser ensemble les résultats d'un groupe de sujets peut camoufler certaines nuances dans l'EIP et les processus cognitifs sous-jacents à la MP (Einstein et al., 2005; McDaniel et Einstein, 2000). En somme, l'étude de la mémoire prospective en est encore à ces débuts et les résultats de cette thèse soulève de nouvelles questions qui pourront faire l'objet d'études futures. Les multiples questions encore en suspens concernant ce type de mémoire en font un secteur de recherche particulièrement stimulant et dynamique.

4.3 Conclusion

Les résultats de cette thèse révèlent que l'utilisation d'un protocole intra-sujets peut s'avérer une option valide dans la recherche en MP, d'autant plus dans le contexte d'une étude en IRMf. Les rapports verbaux des sujets post-expérimentation semblent suggérer que la réalisation d'une tâche de MP peut impliquer des processus stratégiques et automatiques selon les paramètres de la tâche et des variables individuelles (modèle des processus multiples). La relation entre l'EIP et les processus cognitifs sous-jacents à la MP demeure toutefois à préciser davantage. De plus, la MP et la MR semblent solliciter des régions pariétales médianes et latérales similaires. La récupération en MP recrute néanmoins des régions additionnelles qui pourraient sous-tendre les processus attentionnels et exécutifs qui permettent une coordination adéquate de la tâche concurrente et de la tâche MP.

APPENDICE A

Questionnaire médical

Initiales : _____ Code numérique : _____ Date : _____ Date de naissance : _____

Âge : _____ Dominance manuelle : _____ Sexe : _____

Scolarité complétée : _____

Profession : _____ Langue maternelle : _____ Nationalité : _____

Si autre que le français, à quel âge avez-vous appris le français? _____ ans

Quelle langue parlez-vous le plus à la maison? _____

Quelle langue parlez-vous le plus au travail? _____

Quelle langue parlez-vous le mieux ? _____

Vous pouvez être assuré que toutes les informations fournies seront traitées de manière confidentielle.

Vous pouvez ne pas répondre à certaines questions si vous vous sentez mal à l'aise.

Avez-vous déjà présenté les problèmes suivants :

Problèmes	Oui	Non	Détails
1. Maladie grave ou accident dans l'enfance			
2. Anesthésie générale dans les 6 derniers mois			
3. Perte de conscience			Circonstances :
4. Traumatisme crânien (coup à la tête ayant entraîné une perte de conscience momentanée)			Hospitalisation :
5. Important coup à la tête dans un contexte de violence physique			
6. Accident de voiture ou de travail ayant nécessité une hospitalisation			
7. Trouble neurologique (tumeur, hydrocéphalie, trouble moteur, etc.)			
8. Maladie dégénérative (Alzheimer, Parkinson, Sclérose en plaques, maladie de Huntington, etc.)			
9. Accident vasculaire cérébral (AVC)			
10. Épilepsie			
11. Chirurgie au cerveau			
12. Problèmes psychologiques ou psychiatriques (anxiété, dépression, schizophrénie, trouble bipolaire, etc.)			Précisez : Quand : Traités :
13. Problèmes de lecture, d'écriture ou autres troubles d'apprentissage (dyslexie, paralysie, dysorthographe, dysphasie, dyscalculie, etc.)			Moyenne des résultats scolaires au primaire: Depuis quand :
14. Problèmes d'attention et d'hyperactivité			Traité :
15. Autres problèmes neuropsychologiques (langage, mémoire, trouble visuoperceptif, planification, ...)			
16. Diabète			Traité :
17. Trouble cardiaque			
18. Insuffisance thyroïdienne			Traitée :
19. Exposition à des produits toxiques			
20. Problèmes visuels non corrigés			
21. Problèmes auditifs non corrigés			
22. Autres maladies sérieuses			
23. Prenez-vous des médicaments?			Lesquels :
24. Consommez-vous de l'alcool?			Fréquence : Quantité :
25. Consommez-vous de la drogue?			Fréquence : Quantité :

APPENDICE B

FORMULAIRE DE DÉPISTAGE POUR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE

Titre du Projet :

Nom des chercheurs :

Certains objets métalliques peuvent interagir avec le puissant champ magnétique utilisé lors de cet examen. Pour la sécurité du patient et pour assurer une étude optimale, il est essentiel que ce questionnaire soit rempli par le patient, puis annexé à la demande d'examen.

SVP complétez et rapportez ce questionnaire le jour de votre rendez-vous car il doit être vérifié avec vous et la technologue.

1. Avez-vous déjà été : machiniste, soudeur, opérateur de
machinerie lourde ou travailleur de métal ?
Oui ____ **Non** ____
2. Avez-vous déjà été : blessé(e) au visage ou aux yeux par un
morceau de métal ? (éclats métalliques,
blessure par balle ou plomb) **Oui** ____ **Non** ____

Si oui, décrivez :

3. A-t-on déjà retiré un éclat de métal de vos yeux ? **Oui** ____ **Non** ____
Si oui, veuillez communiquer avec nous au 890-8000 :
poste 14429 (Hôtel-Dieu)
poste 23795 (Notre-Dame)
poste 35614 (Saint-Luc)

4. Avez-vous déjà été blessé(e) au corps par un morceau de métal ?
(explosion, blessure par balle, accident de travail ou de la route, blessure de guerre)
- | Oui | Non |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Si oui, décrivez : _____

Age Group	Total	Male	Female	Male	Female
18-24	15%	15%	15%	15%	15%
25-34	25%	25%	25%	25%	25%
35-44	35%	35%	35%	35%	35%
45-54	45%	45%	45%	45%	45%
55-64	55%	55%	55%	55%	55%
65-74	65%	65%	65%	65%	65%
75+	75%	75%	75%	75%	75%

5. Êtes-vous enceinte ou croyez-vous l'être ? **Oui** ____ **Non** ____
6. Est-ce que vous allaitez ? **Oui** ____ **Non** ____
7. Êtes-vous claustrophobe ? **Oui** ____ **Non** ____
8. Avez-vous déjà subi un examen en résonance magnétique ? **Oui** ____ **Non** ____
9. Quel est votre poids ? _____ , votre taille ? _____
10. Avez-vous déjà été opéré(e) ? (Indiquez le type et la date approximative de l'opération)

* Tête	_____	Oui	_____	Non	_____
* Thorax	_____	Oui	_____	Non	_____

* Abdomen	_____	Oui	_____	Non	_____
* Colonne	_____	Oui	_____	Non	_____
* Extrémités	_____	Oui	_____	Non	_____
* Autres (spécifiez)	_____	Oui	_____	Non	_____

11. Avez-vous des allergies médicamenteuses ? **Oui** _____ **Non** _____
Si oui, indiquez les médicaments _____
12. Avez-vous déjà fait une réaction allergique à un produit de contraste utilisé en résonance magnétique ou Ct Scan ? **Oui** _____ **Non** _____
13. Êtes-vous porteur ? (**SVP encerclez**)

* Cardiomulateur cardiaque (pacemaker, défibrillateur) OUI NON	* Implants orthopédiques (plaques, vis, prothèse, clou, intramédullaire) OUI NON
* Électrodes épicaudiques OUI NON	* Membres artificiels OUI NON
* Clip sur un anévrisme cérébral OUI NON	* Maquillage permanent OUI NON
* Implant cochléaire OUI NON	* Tatouage(s) OUI NON
* Neurostimulateur ou stimulateur électrique pour les os OUI NON	* Perçage « Body Piercing » OUI NON
* Prothèse valvulaire cardiaque OUI NON	* Implants magnétiques OUI NON
* Corps étranger métallique (balles, plombs, fragments d'obus, éclats métalliques) OUI NON	* Diaphragme, stérilet OUI NON
* Pompe à insuline implantée OUI NON	* Dentier (appareils d'orthodontie) OUI NON
* Filtre, cathéter dans un vaisseau sanguin OUI NON	

Si vous avez répondu affirmativement à une ou plusieurs de ces questions, **SVP décrivez** :

J'ai pris connaissance du questionnaire ci-dessus. On a répondu de façon satisfaisante à toutes mes questions concernant cet examen.

Je consens à l'examen par résonance magnétique.

Signature du patient

Date

APPENDICE C

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche : Les régions cérébrales impliquées dans la récupération en mémoire épisodique rétrospective et prospective

Chercheur responsable du projet : Isabelle Rouleau Ph.D. (chercheure principale)
Véronique Paradis (étudiante)

Préambule

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

Qu'est-ce qu'une résonance magnétique?

L'examen par résonance magnétique est une technique médicale qui donne des images de grande qualité du corps, du cerveau ainsi que de leur fonctionnement. Cette technique fait appel à une force naturelle présente autour de nous: le magnétisme. Ce champ magnétique intense est créé par un aimant.

La résonance magnétique permet également des examens par résonance magnétique fonctionnelle. Dans ce cas, l'appareil permet de voir les zones du cerveau qui deviennent actives lorsqu'on demande à une personne d'effectuer une tâche précise. Cette tâche peut être motrice, par exemple, lorsque l'on demande à la personne de bouger un doigt ou bien elle peut être cognitive, par exemple lorsque l'on demande à la personne d'effectuer un calcul mental, lire un mot ou encore regarder des photographies. Lorsqu'on demande à une personne d'effectuer une tâche, il y a augmentation de l'arrivée de sang dans la partie du cerveau qui contrôle cette activité. L'arrivée du sang provoque un changement dans le signal émis par le cerveau et cette modification de signal peut être détectée par l'appareil de résonance magnétique.

Pour l'examen d'imagerie par résonance magnétique, vous serez allongé sur un matelas qui sera lentement glissé dans un grand tube. Le tube est ouvert aux deux extrémités, il est muni d'une excellente aération et très bien éclairé. Un système d'interphone vous permettra de communiquer avec le technicien au besoin. Pour votre confort, on vous demandera de porter soit un casque d'écoute, soit des bouchons protecteurs qui seront installés dans vos oreilles, et

ce, afin de diminuer les bruits importants qui sont émis par l'appareil. Pendant que l'appareil fonctionne, il est important que vous demeuriez immobile. Pour ce faire, un coussinet sera placé autour de votre tête afin d'assurer votre immobilité.

Pour cet examen aucune substance ne vous sera injectée.

Nature et objectifs du projet de recherche:

Vous êtes invité à participer à un projet de recherche en neuroimagerie qui vise à identifier les régions du cerveau impliquées dans la mémoire par une technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.

Pour la réalisation de ce projet de recherche nous comptons recruter 16 participants âgés entre 18 et 35 ans.

Déroulement du projet de recherche

Votre participation à ce projet consistera en une seule rencontre d'environ deux heures à l'hôpital Notre-Dame. Dans un premier temps, lors de votre arrivée, nous vous expliquerons les différentes tâches que vous devrez effectuer lorsque vous serez à l'intérieur de l'appareil de résonance magnétique fonctionnelle. Quelques essais de pratique seront effectués à l'extérieur de l'appareil afin de vous familiariser avec les tâches et assurer votre compréhension.

Ensuite, le projet consistera à mesurer l'activité cérébrale de votre cerveau pendant que vous effectuerez certaines tâches simples :

1. Porter de jugements sur des images présentées à l'écran
2. Déterminer durant quelle tâche de jugement, les images ont été présentées au début de l'expérimentation.
3. Reconnaître parmi des images, celles qui ont été présentées au début de l'expérimentation.
4. Effectuer une tâche attentionnelle, c'est-à-dire détecter un item cible parmi d'autres items présentés à l'écran.
5. Appuyer sur un bouton lorsqu'un type d'item particulier, préciser au cours de l'expérimentation, sera présenté à l'écran au cours d'un ou l'autre des tâches.

Avantages

Vous ne retirerez aucun bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche. Toutefois, les résultats obtenus pourraient contribuer à l'avancement des connaissances dans ce domaine. En effet, les résultats pourront contribuer à déterminer les zones actives du cerveau dans différents types de tâches cognitives.

Inconvénients

Les conditions imposées par l'utilisation de l'imagerie par résonance magnétique peuvent entraîner un certain inconfort du fait de devoir rester immobile pendant l'examen et un inconfort pourrait également être associé au bruit que génère le fonctionnement de l'appareil. Vous pourriez aussi ressentir un certain stress ou une sensation de claustrophobie.

Risques pouvant découler de votre participation au projet de recherche

Selon les connaissances actuelles, votre participation à un examen d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ne vous fera courir, sur le plan médical, aucuns risques si vous ne présentez aucune contre-indication.

Par ailleurs, à cause de la puissance de ce champ magnétique émis par l'appareil, il est nécessaire de prendre certaines précautions. C'est pourquoi vous devez obligatoirement remplir un questionnaire détaillé afin de détecter toute contre-indication à la passation de cet examen, par exemple, la présence d'un stimulateur cardiaque, d'un clip d'anévrisme, de prothèse métallique, de prothèse ou clip valvulaire cardiaque, de présence de métal dans l'œil ou sur le corps, de tatouage, de piercing, de broches dentaires ou si vous souffrez de claustrophobie aiguë.

La vérification rigoureuse de la présence de contre-indication sera assumée par le technologue en fonction à l'Unité de radiologie de l'hôpital Notre-Dame du CHUM. (Voir questionnaire en annexe)

Risques associés à la grossesse

Quelques études effectuées au cours des dernières années suggèrent que l'imagerie par résonance magnétique comporte certains risques pour la santé des embryons et des fœtus. Ces risques sont attribués au champ magnétique de radiofréquence causant parfois un réchauffement, ainsi qu'au champ produit par les gradients qui de par leur interaction avec le champ magnétique statique produisent beaucoup de bruit.

Par conséquent, les femmes enceintes ou qui allaitent seront exclues de l'étude. Les femmes susceptibles de devenir enceintes devront subir un test de grossesse avant le début de leur participation à l'étude.

Participation volontaire et possibilité de retrait

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en faisant connaître votre décision au chercheur responsable du projet ou à l'un des membres du personnel affecté au projet.

Le chercheur responsable du projet de recherche ou le Comité mixte d'éthique de la recherche du RNQ peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, si de

nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous vous retirez ou êtes retiré du projet, l'information déjà obtenue dans le cadre de ce projet sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour rencontrer les exigences réglementaires.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai verbalement et par écrit.

Confidentialité

Durant votre participation à ce projet, le chercheur responsable ainsi que son personnel recueilleront et consigneront dans un dossier de recherche les renseignements vous concernant. Seuls les renseignements nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet seront recueillis.

Votre dossier peut comprendre des renseignements tels que votre nom, votre sexe, votre date de naissance, votre origine ethnique, ainsi que les résultats de tous les tests, examens et procédures que vous aurez à subir durant ce projet.

Tous les renseignements recueillis demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable.

Le chercheur responsable du projet utilisera les données à des fins de recherche dans le but de répondre aux objectifs scientifiques du projet décrits dans le formulaire d'information et de consentement. Ces données seront conservées pendant 5 ans après la fin de l'étude par le chercheur responsable.

Les résultats pourront être publiés dans des revues spécialisées ou faire l'objet de discussions scientifiques, mais il ne sera pas possible de vous identifier.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche pourra être consulté par une personne mandatée par le Comité mixte d'éthique de la recherche du RNQ ou par l'établissement ou par une personne mandatée par le ministre de la Santé et des Services sociaux ou par une personne mandatée par des organismes publics autorisés. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous rapidement, vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire à part maintenu par le chercheur responsable ou par l'établissement.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis, et les faire rectifier au besoin, et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou l'établissement détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique du projet, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois votre participation terminée.

Compensation

Un montant de 30\$ vous sera remis pour compenser le temps consacré à ce projet de recherche.

Indemnisation en cas de préjudice et droits du sujet de recherche

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à ce projet, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement de leur responsabilité civile et professionnelle.

Identification des personnes ressources :

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez relié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le chercheur responsable du projet de recherche :

Isabelle Rouleau, chercheure au CHUM et professeur à l'UQAM,
Téléphone : UQAM (514) 987-3000, poste 8915 ou HND (514) 890-8000, poste 25737,
Courriel : rouleau.isabelle@uqam.ca

Véronique Paradis, étudiante au doctorat en neuropsychologie (UQAM)
Téléphone : (514) 987-3000 poste 3349
Courriels : paradis.veronique@courrier.uqam.ca

Pour toute question concernant vos droits en tant que sujet participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec la commissaire locale aux plaintes et à la qualité des services du CHUM à l'adresse suivante : 1560, rue Sherbrooke Est, Bureau D-1090-1, Pavillon Lachapelle, Montréal (QC), H2L 4M1, 514-890-8000 poste 26047.

Surveillance des aspects éthiques du projet de recherche

Le Comité mixte d'éthique de la recherche du RNQ a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, il approuvera au préalable toute révision et toute modification apportée au formulaire d'information et de consentement et au protocole de recherche.

Pour toute information, vous pouvez communiquer avec le secrétariat du Comité mixte d'éthique de la recherche du RNQ au 514.340.2800 poste 3250.

Retour d'information et autorisation de transmettre les résultats

Les scans de recherche ne font pas l'objet d'un examen neuroradiologique. Cependant, l'examen d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle peut mettre en évidence des problèmes jusque là ignorés. C'est pourquoi, en présence de toute particularité dans les scans, vous serez invité à passer un nouvel examen avec un appareil de 1.5 teslas pour vérification. Advenant, la confirmation d'une anomalie, un neurologue transmettra ces données à votre médecin traitant ou vous assurera un suivi.

J'autorise la personne responsable de ce projet de recherche à transmettre les résultats de mon évaluation à mon médecin traitant si l'examen révèle une condition nécessitant un suivi :

☐ Oui

☐ Non

Nom et adresse de mon médecin traitant : _____

CONSENTEMENT

Titre du projet de recherche : Les régions cérébrales impliquées dans la récupération en mémoire épisodique rétrospective et prospective

I. CONSENTEMENT DU SUJET

J'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens à participer à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées. Une copie signée et datée du présent formulaire d'information et de consentement m'a été remise.

Nom et signature du sujet de recherche

Date

II. SIGNATURE DE LA PERSONNE QUI A OBTENU LE CONSENTEMENT SI DIFFÉRENT DU CHERCHEUR RESPONSABLE DU PROJET DE RECHERCHE.

J'ai expliqué au sujet de recherche les termes du présent formulaire d'information et de consentement et j'ai répondu aux questions qu'il m'a posées.

Nom et signature de la personne qui obtient le consentement

Date

III. SIGNATURE ET ENGAGEMENT DU CHERCHEUR RESPONSABLE DU PROJET

Je certifie qu'on a expliqué au sujet de recherche les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions que le sujet de recherche avait à cet égard et qu'on lui a clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée au sujet de recherche.

Nom et signature du chercheur responsable du projet de recherche

Date

APPENDICE D

Méthodologie

Décision S / P	Récupération contextuelle	Reconnaissance
MP -	MP-	MP-
MP+	MP+	MP+

Version A

1. d2

2. Tâche sans MP (version 1 et 2)

Décision sémantique ou perceptive (48 items)

Récupération contextuelle (48 items de la DSP)

Reconnaissance (24 anciens items et 24 nouveaux items)

3. MPRAGE

Instructions MP

d2

4. Tâche avec MP (version 1 et 2)

DSP + MP (48 items)

RC + MP (48 items de la DSP)

RN + MP (24 anciens items et 24 nouveaux items)

Version B

1. MPRAGE

Instructions MP

d2

2. Tâche avec MP (version 1 et 2)

DSP + MP (48 items)

RC + MP (48 items de la DSP)

RN + MP (24 anciens items et 24 nouveaux items)

3. d2

4. Tâche sans MP (version 1 et 2)

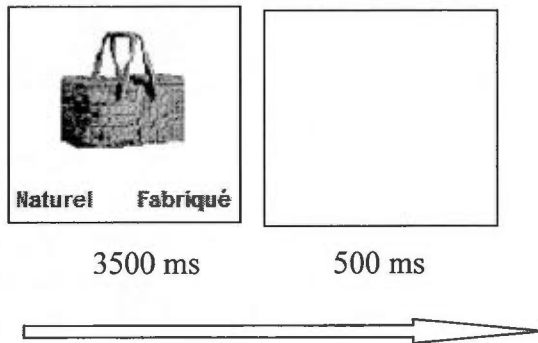
Décision sémantique ou perceptive (48 items)

Récupération contextuelle (48 items de la DSP)

Reconnaissance (24 anciens items et 24 nouveaux items)

1. Tâche de décision sémantique ou perceptive

1 item : 4000 ms (stimulus : 3500ms ; 500 ms)



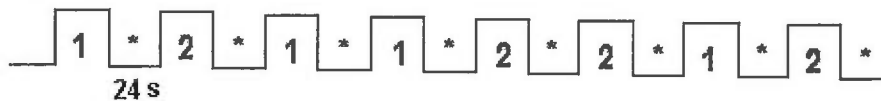
Tâche DSP:

- 48 items/ 8 blocs de 6 items ;
- 1 bloc : instructions : 6 sec. + 24 sec. (30 sec.)

Tâche DSP : 240 sec. + Tâche contrôle : 192 : 432 sec. (144 volumes) : 7 min.12sec.

1. Décision sémantique (images) : éléments naturels / fabriqués
2. Décision perceptive (images) : éléments < chaise / > chaise

30s : Inst. + 24 s



(ordre de présentation des blocs de tâches 1 et 2 et distribution aléatoire des stimuli étaient contrebalancés entre les sujets ; 2 versions de tâches étaient utilisées)

48 images

- 12 images d'éléments naturels < chaise (banane)
- 12 images d'éléments naturels > chaise (chameau)
- 12 images d'éléments fabriqués < chaise (crayon)
- 12 images d'éléments fabriqués > chaise (avion)

2. Récupération contextuelle

Quel type de jugement a été fait sur chaque item ?
(Naturel / fabriqué ou plus petit/ plus gros qu'une chaise)
48 items qui ont été présentés durant la tâche de DSP

Tâche RC :

- 1 item : paramètres identiques à la tâche de DSP
- Instructions (6 sec.) en début de tâche ;
- 48 items/ 8 blocs de 6 items ;
- 1 bloc : 24 sec.

Instruction : 6 sec.; Tâche RC : 192 sec. + Tâche contrôle : 192 sec. : 390 s./ 6 min.30 sec.

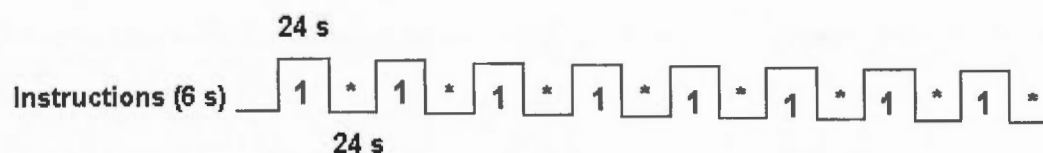
3. Reconnaissance

Avez-vous déjà vu cette image ? : oui / non
24 items déjà présenté dans la tâche de décision sémantique ou perceptive et dans la tâche de récupération contextuelle et 24 items nouveaux

Tâche RN :

- 1 item : paramètres identiques à la tâche de DSP
- Instructions (6 sec) en début de tâche;
- 48 items/ 8 blocs de 6 items ;
- 1 bloc : 24 sec

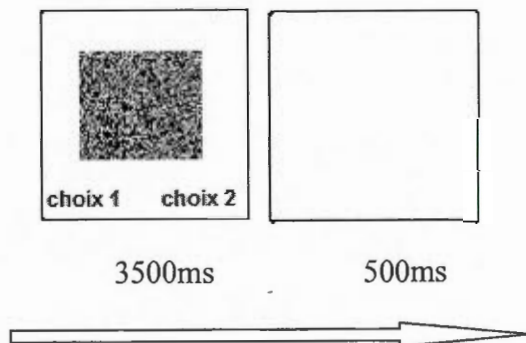
Instruction : 6 sec.; Tâche RN : 192 sec.+ Tâche contrôle : 192 sec. : 390 sec./ 6 min 30 sec.



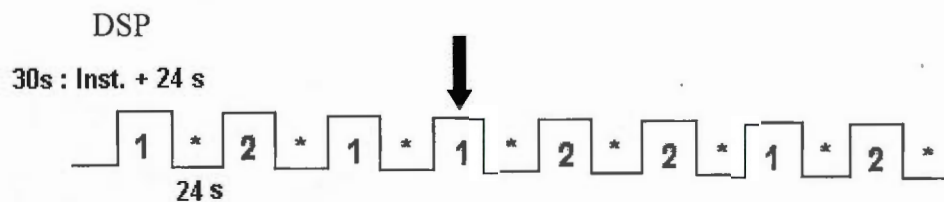
Tâche contrôle

Appuyer au hasard sur une des touches lors de l'apparition de l'image contrôle?

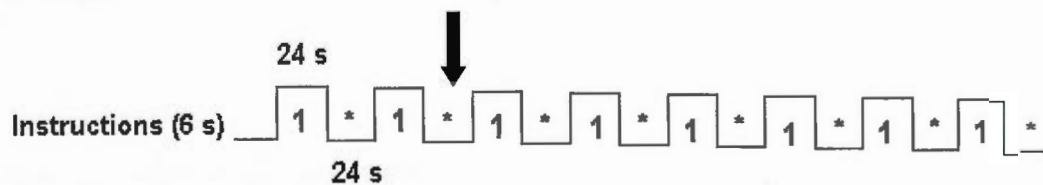
1 item : 4000 ms (stimulus: 3500ms ; 500 ms)



Tâche contrôle commune aux conditions DSP, RC et RN : 48 items / 8 blocs de 6 items ; 1 bloc : 24 sec



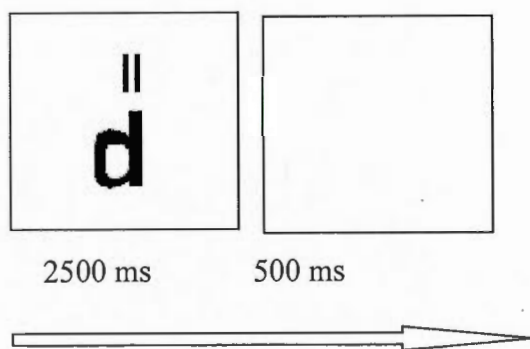
RC et RN



Tâche attentionnelle d2

- Acquisition d'images structurales MPAGE, sans acquisition d'images fonctionnelles

1 item : 3000 ms (stimulus : 2500ms ; 500 ms)



Tâche d2 : 80 items ; 4 minutes

APPENDICE E

Questionnaire post-expérimentation

Deviez-vous maintenir constamment en tête la consigne de la tâche supplémentaire, c'est-à-dire où vous deviez appuyer sur la touche du pouce quand un instrument de musique apparaissait ou celle-ci vous revenait automatiquement en tête (pop-up) en présence d'un instrument de musique?

Diriez-vous que la tâche supplémentaire où vous deviez appuyer sur le pouce lorsqu'un instrument de musique apparaissait à l'écran était: facile, de difficulté intermédiaire ou difficile ?

Avez-vous trouvé la série de tâches durant laquelle vous deviez aussi appuyer sur un autre touche pour les instruments de musique, moins difficile/ exigeante, similaire ou plus difficile/ exigeante que la série de tâches sans cette consigne additionnelle?

Est-ce que vous avez trouvé la tâche où vous deviez dire quel type de décision vous aviez pris durant la tâche précédente (plus petit ou plus gros qu'une chaise ou naturel/fabriquée), facile, de difficulté intermédiaire ou difficile ?

Aviez-vous une stratégie particulière pour tenter de vous souvenir dans quel contexte vous aviez vu l'image durant cette tâche ?

Avez-vous trouvé la tâche de reconnaissance, c'est-à-dire lorsque vous deviez dire si vous aviez déjà vu l'image durant les tâches précédentes ou si l'image était nouvelle, facile, de difficulté intermédiaire ou difficile ?

Commentaires :

RÉFÉRENCES

- Altgassen, M., Zolig, J., Kopp, U., Mackinlay, R., & Kliegel, M. (2007). Patients with Parkinson's disease can successfully remember to execute delayed intentions. *J Int Neuropsychol Soc*, 13(5), 888-892.
- Bachevalier, J. (2005). Les troubles de mémoire et les systèmes de mémoire. In T. Botez-Marquard & F. Boller (Eds.), *Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement* (pp. 392-412). Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation* (pp. 47-90). New York: Academic Press.
- Bissiachi, P. S. (1996). The neuropsychological approach in the study of prospective memory. In M. Brandimonte, G. O. Einstein & M. A. McDaniel (Eds.), *Prospective memory: theory and applications* (pp. 297-318). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Brandimonte, M. A., & Passolunghi, M. C. (1994). The effect of cue-familiarity, cue-distinctiveness, and retention interval on prospective remembering. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A(3), 565-587.
- Braver, T. S., Reynolds, J. R., & Donaldson, D. I. (2003). Neural mechanisms of transient and sustained cognitive control during task switching. *Neuron*, 39(4), 713-726.
- Burgess, P. W., Gonen-Yaacovi, G., & Volle, E. (2011). Functional neuroimaging studies of prospective memory: What have we learnt so far? *Neuropsychologia*.
- Burgess, P. W., Quayle, A., & Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia*, 39(6), 545-555.
- Burgess, P. W., Scott, S. K., & Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: a lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, 41(8), 906-918.
- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I., & Gilbert, S. J. (2005). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. In J. Duncan, L. H. Phillips & P. McLeod (Eds.), *Measuring the mind: Speed, control, and age* (pp. 217-248). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Burgess, P. W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, 38(6), 848-863.

- Cabeza, R. (2008). Role of parietal regions in episodic memory retrieval: the dual attentional processes hypothesis. *Neuropsychologia*, 46(7), 1813-1827.
- Cabeza, R., Kapur, S., Craik, F. I. M., McIntosh, A. R., Houle, S., & Tulving, E. (1997). A PET study of episodic memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 254-265.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2000). Imaging cognition II: An empirical review of 275 PET and fMRI studies. *J Cogn Neurosci*, 12(1), 1-47.
- Cabeza, R., & Nyberg, L. (2003). Functional neuroimaging of memory. *Neuropsychologia*, 41(3), 241-244.
- Carey, C. L., Woods, S. P., Rippeth, J. D., Heaton, R. K., & Grant, I. (2006). Prospective memory in HIV-1 infection. *J Clin Exp Neuropsychol*, 28(4), 536-548.
- Carlesimo, G. A., Casadio, P., & Caltagirone, C. (2004). Prospective and retrospective components in the memory for actions to be performed in patients with severe closed-head injury. *J Int Neuropsychol Soc*, 10(5), 679-688.
- Carlesimo, G. A., Costa, A., Serra, L., Bozzali, M., Fadda, L., & Caltagirone, C. (2011). Prospective memory in thalamic amnesia. *Neuropsychologia*, 49(8), 2199-2208.
- Casey, B. J., Thomas, K. M., Welsh, T. F., Badgaiyan, R. D., Eccard, C. H., Jennings, J. R., et al. (2000). Dissociation of response conflict, attentional selection, and expectancy with functional magnetic resonance imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(15), 8728-8733.
- Cavanna, A. E., & Trimble, M. R. (2006). The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain*, 129(Pt 3), 564-583.
- Chao, L. L., & Knight, R. T. (1998). Contribution of human prefrontal cortex to delay performance. *J Cogn Neurosci*, 10(2), 167-177.
- Cherry, K. E., & LeCompte, D. C. (1999). Age and individual differences influence prospective memory. *Psychol Aging*, 14(1), 60-76.
- Cockburn, J. (1995). Task interruption in prospective memory: a frontal lobe function? *Cortex*, 31(1), 87-97.
- Cook, G. I., Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Martin, B. A. (2006). Fan effects in event-based prospective memory. *Memory*, 14(7), 890-900.
- Costa, A., Perri, R., Serra, L., Barban, F., Gatto, I., Zabberoni, S., et al. (2010). Prospective memory functioning in mild cognitive impairment. *Neuropsychology*, 24, 327-335.
- Costa, A., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2011). Prospective memory impairment in mild cognitive impairment: an analytical review. *Neuropsychol Rev*, 21(4), 390-404.
- Costa, A., Peppe, A., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2008). Prospective memory impairment in individuals with Parkinson's disease. *Neuropsychology*, 22, 283-292.

- Costa, A., Perri, R., Zabberoni, S., Barban, F., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2011). Event-based prospective memory failure in amnesic mild cognitive impairment. *Neuropsychologia*, 49(8), 2209-16.
- D'Esposito, M., Zarahn, E., & Aguirre, G. K. (1999). Event-related functional MRI: implications for cognitive psychology. *Psychol Bull*, 125(1), 155-164.
- den Ouden, H. E., Frith, U., Frith, C., & Blakemore, S. J. (2005). Thinking about intentions. *Neuroimage*, 28(4), 787-796.
- Dobbs, A. R., & Reeves, M. B. (1996). Prospective memory: More than memory. In M. Brandimonte, G. O. Einstein & M. A. McDaniel (Eds.), *Prospective memory: Theory and application* (pp. 199-225). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Donaldson, D. I., Petersen, S. E., Ollinger, J. M., & Buckner, R. L. (2001). Dissociating state and item components of recognition memory using fMRI. *Neuroimage*, 13(1), 129-142.
- Einstein, G. O., Holland, L. J., McDaniel, M. A., & Guynn, M. J. (1992). Age-related deficits in prospective memory: the influence of task complexity. *Psychol Aging*, 7(3), 471-478.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 16(4), 717-726.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1996). Retrieval processes in prospective memory: Theoretical approaches and some new empirical findings. In M. Brandimonte, G. O. Einstein & M. A. McDaniel (Eds.), *Prospective memory: Theory and applications*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2010). Prospective memory and what costs do not reveal about retrieval processes: A commentary on Smith, Hunt, McVay, and McConnell (2007). *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 36(4), 1082-1088; discussion 1089-1095.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Manzi, M., Cochran, B., & Baker, M. (2000). Prospective memory and aging: forgetting intentions over short delays. *Psychol Aging*, 15(4), 671-683.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Richardson, S. L., Guynn, M. J., & Cunfer, A. R. (1995). Aging and prospective memory: examining the influences of self-initiated retrieval processes. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 21(4), 996-1007.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Thomas, R., Mayfield, S., Shank, H., Morrisette, N., et al. (2005). Multiple processes in prospective memory retrieval: factors determining monitoring versus spontaneous retrieval. *J Exp Psychol Gen*, 134(3), 327-342.
- Einstein, G. O., Smith, R. E., McDaniel, M. A., & Shaw, P. (1997). Aging and prospective memory: the influence of increased task demands at encoding and retrieval. *Psychol Aging*, 12(3), 479-488.
- Ellis, J., & Kvavilashvili, L. (2000). Prospective memory in 2000: Past, present, and future directions. *Applied cognitive psychology*, 14, S1-S9.

- Eustache, F., Piolino, P., Giffard, B., Viader, F., De La Sayette, V., Baron, J. C., et al. (2004). 'In the course of time': a PET study of the cerebral substrates of autobiographical amnesia in Alzheimer's disease. *Brain : a journal of neurology*, 127(Pt 7), 1549-1560.
- Fletcher, P. C., & Henson, R. N. (2001). Frontal lobes and human memory: insights from functional neuroimaging. *Brain*, 124(Pt 5), 849-881.
- Fujii, T., Moscovitch, M., & Nadel, L. (2000). Memory consolidation, retrograde amnesia, and the temporal lobe. . In F. Boller, Grafman, J. (Ed.), *Handbook of Neuropsychology* (second ed., Vol. 2, pp. 223-250). Amsterdam: Elsevier.
- Gil, R. (2003). *Neuropsychologie*. Paris: Masson.
- Gilbert, S. J., Spengler, S., Simons, J. S., Steele, J. D., Lawrie, S. M., Frith, C. D., et al. (2006). Functional specialization within rostral prefrontal cortex (area 10): a meta-analysis. *J Cogn Neurosci*, 18(6), 932-948.
- Glover, G. H., & Law, C. S. (2001). Spiral-in/out BOLD fMRI for increased SNR and reduced susceptibility artifacts. *Magnetic resonance in medicine : official journal of the Society of Magnetic Resonance in Medicine / Society of Magnetic Resonance in Medicine*, 46(3), 515-522.
- Goshke, T., & Kuhl, J. (1993). Representation of intentions: Persisting activation in memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(5), 1211-1226.
- Grady, C. L., & Craik, F. I. (2000). Changes in memory processing with age. *Current Opinion in Neurobiology*, 10(2), 224-231.
- Gusnard, D. A., & Raichle, M. E. (2001). Searching for a baseline: functional imaging and the resting human brain. *Nature reviews. Neuroscience*, 2(10), 685-694.
- Guynn, M. J. (2003). A two-process model of strategic monitoring in event-based prospective memory: Activation/retrieval mode and checking. *International journal of psychology*, 38(4), 245-256.
- Gyunn, M. J. (2005). Monitoring in event-based prospective retrieval: retrieval mode instantiation plus target event checks.
- Hashimoto, T., Umeda, S., & Kojima, S. (2011). Neural substrates of implicit cueing effect on prospective memory. *Neuroimage*, 54(1), 645-652.
- Henry, J.D., Phillips, L.H., Crawford, J.R., Kliegel, M., Theodorou, G., & Summers, F. (2007). Traumatic brain injury and prospective memory: Influence of task complexity. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 29 (5), 457-466.
- Huppert, F. A., Johnson, T., & Nickson, J. (2000). High prevalence of prospective memory impairment in the elderly and in early-stage dementia: Findings from a population-based study. *Applied cognitive psychology*, 14, S63-S81.
- Imabayashi, E., Matsuda, H., Asada, T., Ohnishi, T., Sakamoto, S., Nakano, S., et al. (2004). Superiority of 3-dimensional stereotactic surface projection analysis over visual inspection in discrimination of patients with very early Alzheimer's disease from controls using brain perfusion SPECT. *Journal of*

- nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine*, 45(9), 1450-1457.
- Jenkins, I. H., Jahanshahi, M., Jueptner, M., Passingham, R. E., & Brooks, D. J. (2000). Self-initiated versus externally triggered movements. II. The effect of movement predictability on regional cerebral blood flow. *Brain*, 123 (Pt 6), 1216-1228.
- Jones, S., Livner, A., & Backman, L. (2006). Patterns of prospective and retrospective memory impairment in preclinical Alzheimer's disease. *Neuropsychology*, 20(2), 144-152.
- Joyal, C. (2005). Neuro-imagerie fonctionnelle en neuropsychologie et neuropsychiatrie. In T. Botez-Marquard & F. Boller (Eds.), *Neuropsychologie clinique et neurologie du comportement* (pp. 109-136). Montréal: Les Presses de l'Université de Montréal.
- Kalpouzos, G., Eriksson, J., Sjolie, D., Molin, J., & Nyberg, L. (2010). Neurocognitive systems related to real-world prospective memory. *PLoS One*, 5(10), e13304.
- Katai, S., Maruyama, T., Hashimoto, T., & Ikeda, S. (2003). Event based and time based prospective memory in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 74(6), 704-709.
- Kliegel, M., Eschen, A., & Thone-Otto, A. I. (2004). Planning and realization of complex intentions in traumatic brain injury and normal aging. *Brain Cogn*, 56(1), 43-54.
- Kliegel, M., Phillips, L. H., Lemke, U., & Kopp, U. A. (2005). Planning and realisation of complex intentions in patients with Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 76(11), 1501-1505.
- Knight, R. G., Harnett, M., & Titov, N. (2005). The effects of traumatic brain injury on the predicted and actual performance of a test of prospective remembering. *Brain Inj*, 19(1), 19-27.
- Knight, R. G., Titov, N., & Crawford, M. (2006). The effects of distraction on prospective remembering following traumatic brain injury assessed in a simulated naturalistic environment. *J Int Neuropsychol Soc*, 12(1), 8-16.
- Kopp, U. A., & Thöne-Otto, A. I. T. (2003). Disentangling executive functions and memory processes in event-based prospective remembering after brain damage: A neuropsychological study. *International journal of psychology*, 38(4), 229-235.
- Kvavilashvili, L., & Ellis, J. (1996). Varieties of intention: Some distinction and classifications. In M. Brandimonte, G. O. Einstein & M. A. McDaniel (Eds.), *Prospective memory: Theory and applications* (pp. 23-52). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lange, K. W., Tucha, O., Steup, A., Gsell, W., & Naumann, M. (1995). Subjective time estimation in Parkinson's disease. *J Neural Transm Suppl*, 46, 433-438.
- Lepage, M., Ghaffar, O., Nyberg, L., & Tulving, E. (2000). Prefrontal cortex and episodic memory retrieval mode. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 97(1), 506-511.

- Leynes, P. A., Marsh, R. L., Hicks, J. L., Allen, J. D., & Mayhorn, C. B. (2003). Investigating the encoding and retrieval of intentions with event-related potentials. *Conscious Cogn*, 12(1), 1-18; discussion 19-24; author reply 25-30.
- Livner A, Laukka EJ, Karlsson S, & Bäckman L. (2009) Prospective and retrospective memory in Alzheimer's disease and vascular dementia: similar patterns of impairment. *J Neurol Sci*, 15, 283(1-2), 235-9. Logothetis, N. K., Pauls, J., Augath, M., Trinath, T., & Oeltermann, A. (2001). Neurophysiological investigation of the basis of the fMRI signal. *Nature*, 412(6843), 150-157.
- Lou, H. C., Luber, B., Crupain, M., Keenan, J. P., Nowak, M., Kjaer, T. W., et al. (2004). Parietal cortex and representation of the mental Self. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(17), 6827-6832.
- Lundstrom, B. N., Ingvar, M., & Petersson, K. M. (2005). The role of precuneus and left inferior frontal cortex during source memory episodic retrieval. *Neuroimage*, 27(4), 824-834.
- Lundstrom, B. N., Petersson, K. M., Andersson, J., Johansson, M., Fransson, P., & Ingvar, M. (2003). Isolating the retrieval of imagined pictures during episodic memory: activation of the left precuneus and left prefrontal cortex. *Neuroimage*, 20(4), 1934-1943.
- Maguire, E. A. (2001). Neuroimaging studies of autobiographical event memory. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 356(1413), 1441-1451.
- Marsh, R. L., Hancock, T. W., & Hicks, J. L. (2002). The demands of an ongoing activity influence the success of event-based prospective memory. *Psychon Bull Rev*, 9(3), 604-610.
- Marsh, R. L., & Hicks, J. L. (1998). Event-based prospective memory and executive control of working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24(2), 350-361.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Bink, M. L. (1998). The activation of completed, uncompleted and partially completed intentions. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 24(2), 350-361.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2006). Task interference from prospective memories covaries with contextual associations of fulfilling them. *Mem Cognit*, 34(5), 1037-1045.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., Cook, G. I., Hansen, J. S., & Pallos, A. L. (2003). Interference to ongoing activities covaries with the characteristics of an event-based intention. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 29(5), 861-870.
- Martin, E. M., Nixon, H., Pitrak, D. L., Weddington, W., Rains, N. A., Nunnally, G., et al. (2006). Characteristics of prospective memory deficits in HIV-seropositive-dependent individuals: Preliminary observations. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 29(5), 496-504.

- Martin, T., McDaniel, M.A., Guynn, M.J., Houck, J.M., Woodruff, C.C., Bish, J.P., Moses, S.N., Kičić, D. & Tesche, C.D. (2007) Brain regions and their dynamics in prospective memory retrieval: A MEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 64, 247-258.
- Mathias, J. L., & Mansfield, K. M. (2005). Prospective and declarative memory problems following moderate and severe traumatic brain injury. *Brain Inj*, 19(4), 271-282.
- Maujean, A., Shum, D., & McQueen, R. (2003). Effect of cognitive demand on prospective memory in individuals with traumatic brain injury. *Brain Impairment*, 4, 135-145.
- Mayes, A. R., & Montaldi, D. (2001). Exploring the neural bases of episodic and semantic memory: the role of structural and functional neuroimaging. *Neurosci Biobehav Rev*, 25(6), 555-573.
- Maylor, E. A. (1993). Aging and forgetting in prospective and retrospective memory tasks. *Psychol Aging*, 8(3), 420-428.
- Maylor, E. A. (1996). Age-related impairment in an event-based prospective-memory task. *Psychol Aging*, 11(1), 74-78.
- Maylor, E. A., Smith, G., Della Sala, S., & Logie, R. H. (2002). Prospective and retrospective memory in normal aging and dementia: an experimental study. *Mem Cognit*, 30(6), 871-884.
- McCauley, S. R., & Levin, H. S. (2004). Prospective memory in pediatric traumatic brain injury: a preliminary study. *Dev Neuropsychol*, 25(1-2), 5-20.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multiprocess framework. *Applied cognitive psychology*, 14, S127-S144.
- McDaniel, M. A., Robinson-Riegler, B., & Einstein, G. O. (1998). Prospective remembering: perceptually driven or conceptually driven processes? *Mem Cognit*, 26(1), 121-134.
- McDermott, K. B., Jones, T. C., Petersen, S. E., Lageman, S. K., & Roediger, H. L., 3rd. (2000). Retrieval success is accompanied by enhanced activation in anterior prefrontal cortex during recognition memory: an event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(6), 965-976.
- Medford, N., & Critchley, H. D. (2010). Conjoint activity of anterior insular and anterior cingulate cortex: awareness and response. *Brain Structure and Function*, 214(5-6), 535-549.
- Meier, B., Zimmermann, T. D., & Perrig, W. J. (2006). Retrieval experience in prospective memory: strategic monitoring and spontaneous retrieval. *Memory*, 14(7), 872-889.
- Nagahama, Y., Okada, T., Katsumi, Y., Hayashi, T., Yamauchi, H., Sawamoto, N., et al. (1999). Transient neural activity in the medial superior frontal gyrus and precuneus time locked with attention shift between object features. *Neuroimage*, 10(2), 193-199

- Naghavi, H. R., & Nyberg, L. (2005). Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: shared demands on integration? *Consciousness and Cognition*, 14(2), 390-425.
- Okuda, J., Fujii, T., Ohtake, H., Tsukiura, T., Tanji, K., Suzuki, K., et al. (2003). Thinking of the future and past: the roles of the frontal pole and the medial temporal lobes. *Neuroimage*, 19(4), 1369-1380.
- Okuda, J., Fujii, T., Ohtake, H., Tsukiura, T., Yamadori, A., Frith, C. D., et al. (2007). Differential involvement of regions of rostral prefrontal cortex (Brodmann area 10) in time- and event-based prospective memory. *Int J Psychophysiol*, 64(3), 233-246.
- Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., et al. (1998). Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: evidence from a PET study in humans. *Neurosci Lett*, 253(2), 127-130.
- Okuda, J., Gilbert, S. J., Burgess, P. W., Frith, C. D., & Simons, J. S. (2011). Looking to the future: automatic regulation of attention between current performance and future plans. *Neuropsychologia*, 49(8), 2258-2271.
- Otani, H., Landau, J. D., Libkuman, T. M., St Louis, J. P., Kazen, J. K., & Throne, G. W. (1997). Prospective memory and divided attention. *Memory*, 5(3), 343-360.
- Palmer, H. M., & McDonald, S. (2000). The role of frontal and temporal lobe processes in prospective remembering. *Brain and Cognition*, 44, 103-107.
- Park, D. C., Hertzog, C., Kidder, D. P., Morrell, R. W., & Mayhorn, C. B. (1997). Effect of age on event-based and time-based prospective memory. *Psychol Aging*, 12(2), 314-327.
- Poppenk, J., Moscovitch, M., McIntosh, A. R., Ozcelik, E., & Craik, F. I. (2010). Encoding the future: successful processing of intentions engages predictive brain networks. *Neuroimage*, 49(1), 905-913.
- Potvin, M.J., Rouleau, I., Audy, J., Charbonneau, S., & Giguère, J.F. (2011). Ecological prospective memory assessment in patients with traumatic brain injury. *Brain Injury*, 25 (2), 192-205.
- Ranganath, C., & Knight, R. T. (2003). Prefrontal cortex and episodic memory: Integrating findings from neuropsychology and functional brain imaging. In E. Wilding & T. Bussey (Eds.), *Memory encoding and retrieval : a cognitive neuroscience perspective* (pp. 83-99). New York: Psychology.
- Rao, S. M., Mayer, A. R., & Harrington, D. L. (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nat Neurosci*, 4(3), 317-323.
- Raskin, S. (2004). Memory for intentions screening test (abstract). *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10 (Suppl. 1), 110.
- Reynolds, J. R., West, R., & Braver, T. (2009). Distinct neural circuits support transient and sustained processes in prospective memory and working memory. *Cereb Cortex*, 19(5), 1208-1221.

- Rugg, M. D., Otten, L. J., & Henson, R. N. (2002). The neural basis of episodic memory: evidence from functional neuroimaging. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 357(1424), 1097-1110.
- Rugg, M. D., & Wilding, E. L. (2000). Retrieval processing and episodic memory. *Trends Cogn Sci*, 4(3), 108-115.
- Schmitter-Edgecombe, M., & Wright, M. J. (2004). Event-based prospective memory following severe closed-head injury. *Neuropsychology*, 18(2), 353-361.
- Scullin, M. K., Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2009). Evidence for spontaneous retrieval of suspended but not finished prospective memories. *Mem Cognit*, 37(4), 425-433.
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114 (Pt 2), 727-741.
- Shannon, B. J., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of memory retrieval that suggest nontraditional processing roles for multiple distinct regions within posterior parietal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 24(45), 10084-10092.
- Shum, D., Valentine, M., & Cutmore, T. (1999). Performance of individuals with severe long-term traumatic brain injury on time-, event-, and activity-based prospective memory tasks. *J Clin Exp Neuropsychol*, 21(1), 49-58.
- Simons, J. S., Gilbert, S. J., Owen, A. M., Fletcher, P. C., & Burgess, P. W. (2005). Distinct roles for lateral and medial anterior prefrontal cortex in contextual recollection. *J Neurophysiol*, 94(1), 813-820.
- Simons, J. S., Scholvinck, M. L., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Differential components of prospective memory? Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 44(8), 1388-1397.
- Simons, J. S., & Spiers, H. J. (2003). Prefrontal and medial temporal lobe interactions in long-term memory. *Nat Rev Neurosci*, 4(8), 637-648.
- Smith, R. E., & Bayen, U. J. (2004). A multinomial model of event-based prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 30, 756-777.
- Smith, G., Della Sala, S., Logie, R. H., & Maylor, E. A. (2000). Prospective and retrospective memory in normal ageing and dementia: a questionnaire study. *Memory*, 8(5), 311-321.
- Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: investigating the capacity demands of delayed intention performance. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 29(3), 347-361.
- Smith, R. E. (2010). What Costs Do Reveal and Moving Beyond the Cost Debate: Reply to Einstein and McDaniel (in press). *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 36(4), 1089-1095.
- Smith, R. E., Hunt, R. R., McVay, J. C., & McConnell, M. D. (2007). The cost of event-based prospective memory: salient target events. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 33(4), 734-746.

- Squire, L. R., & Cohen, N. (1984). Human memory and Amnesia. In G. Lynch, J. L. McGaugh & N. M. Weinberger (Eds.), *Neurobiology of Learning and Memory* (pp. 3-64). Hillsdale: Erlbaum.
- Sumner, P., Nachev, P., Morris, P., Peters, A. M., Jackson, S. R., Kennard, C., et al. (2007). Human medial frontal cortex mediates unconscious inhibition of voluntary action. *Neuron*, 54(5), 697-711.
- Sutherland, R. J., Wishaw, I. Q., & Kolb, B. (1988). Contributions of cingulate cortex to two forms of spatial learning and memory. *Journal of Neuroscience*, 8, 1863-1872.
- Taylor, K. S., Seminowicz, D. A., & Davis, K. D. (2009). Two systems of resting state connectivity between the insula and cingulate cortex. *Human Brain Mapping*, 30(9), 2731-2745.
- Thompson, C., Henry, J. D., Rendell, P. G., Withall, A., & Brodaty, H. (2010). Prospective memory function in mild cognitive impairment and early dementia. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 318-325.
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & D. I. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-403). New York: Academic Press.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. New York: Oxford University Press.
- Tulving, E. (2004). [Episodic memory: from mind to brain]. *Rev Neurol (Paris)*, 160(4 Pt 2), S9-23.
- Van der Werf, Y. D., Scheltens, P., Lindeboom, J., Witter, M. P., Uylings, H. B., & Jolles, J. (2003). Deficits of memory, executive functioning and attention following infarction in the thalamus; a study of 22 cases with localised lesions. *Neuropsychologia*, 41(10), 1330-1344.
- Velanova, K., Jacoby, L. L., Wheeler, M. E., McAvoy, M. P., Petersen, S. E., & Buckner, R. L. (2003). Functional-anatomic correlates of sustained and transient processing components engaged during controlled retrieval. *J Neurosci*, 23(24), 8460-8470.
- Vilberg, K. L., & Rugg, M. D. (2008). Memory retrieval and the parietal cortex: a review of evidence from a dual-process perspective. *Neuropsychologia*, 46(7), 1787-1799.
- Wagner, A. D., Shannon, B. J., Kahn, I., & Buckner, R. L. (2005). Parietal lobe contributions to episodic memory retrieval. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 445-453.
- Ward, H., Shum, D., McKinlay, L., Baker-Tweney, S., & Wallace, G. (2005). Development of prospective memory: tasks based on the prefrontal-lobe model. *Child Neuropsychol*, 11(6), 527-549.
- West, R. (2008). The cognitive neuroscience of prospective memory. In M. Kliegel, M. A. McDaniel & G. O. Einstein (Eds.), *Prospective memory: Cognitive, Neuroscience, Developmental, and Applied Perspectives* (pp. 261-282). New York: Lawrence Erlbaum Associates.

- West, R., Bowry, R., & Krompinger, J. (2006). The effects of working memory demands on the neural correlates of prospective memory. *Neuropsychologia*, 44(2), 197-207.
- West, R., Herndon, R. W., & Crewdson, S. J. (2001). Neural activity associated with the realization of a delayed intention. *Brain Res Cogn Brain Res*, 12(1), 1-9.
- West, R., & Krompinger, J. (2005). Neural correlates of prospective and retrospective memory. *Neuropsychologia*, 43(3), 418-433.
- West, R., Krompinger, J., & Bowry, R. (2005). Disruptions of preparatory attention contribute to failures of prospective memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 502-507.
- West, R., McNerney, M. W., & Krauss, I. (2007). Impaired strategic monitoring as the locus of a focal prospective memory deficit. *Neurocase*, 13(2), 115-126.
- West, R., McNerney, M. W., & Travers, S. (2007). Gone but not forgotten: the effects of cancelled intentions on the neural correlates of prospective memory. *Int J Psychophysiol*, 64(3), 215-225.
- West, R., & Ross-Munroe, K. (2002). Neural correlates of the formation and realization of delayed intentions. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 2(2), 162-173.
- West, R., & Wymbs, N. (2004). Is detecting prospective cues the same as selecting targets? An ERP study. *Cogn Affect Behav Neurosci*, 4(3), 354-363.
- West, R., Wymbs, N., Jakubek, K., & Herndon, R. W. (2003). Effects of intention load and background context on prospective remembering: an event-related brain potential study. *Psychophysiology*, 40(2), 260-276.
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2003). Functional dissociation among components of remembering: control, perceived oldness, and content. *The Journal of Neuroscience*, 23(9), 3869-3880.
- Wheeler, M. E., & Buckner, R. L. (2004). Functional-anatomic correlates of remembering and knowing. *Neuroimage*, 21(4), 1337-1349.
- Wheeler, M. A., Stuss, D. T., & Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic memory: the frontal lobes and autonoetic consciousness. *Psychological bulletin*, 121(3), 331-354.
- Whittington, C. J., Podd, J., & Stewart-Williams, S. (2006). Memory deficits in Parkinson's disease. *J Clin Exp Neuropsychol*, 28(5), 738-754.
- Woods, S. P., Carey, C. L., Moran, L. M., Dawson, M. S., Letendre, S. L., & Grant, I. (2007). Frequency and predictors of self-reported prospective memory complaints in individuals infected with HIV. *Arch Clin Neuropsychol*, 22(2), 187-195.
- Woods, S. P., Iudicello, J. E., Moran, L. M., Carey, C. L., Dawson, M. S., & Grant, I. (2008). HIV-associated prospective memory impairment increases risk of dependence in everyday functioning. *Neuropsychology*, 22(1), 110-117.
- Woods, S. P., Moran, L. M., Carey, C. L., Dawson, M. S., Iudicello, J. E., Gibson, S., et al. (2008). Prospective memory in HIV infection: is "remembering to remember" a unique predictor of self-reported medication management? *Arch Clin Neuropsychol*, 23(3), 257-270.

Zarahn, E., Aguirre, G., & D'Esposito, M. (1997). A trial-based experimental design for fMRI. *Neuroimage*, 6(2), 122-138.